

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta stavební

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2018

Radim Zvolánek



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

NÁVRH ÚPRAVY TOKU S OHLEDEM NA POVODŇOVOU SITUACI

RIVER REGULATION WITH FLOOD PROTECTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radim Zvolánek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DAVID DUCHAN, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Radim Zvolánek
Název	Návrh úpravy toku s ohledem na povodňovou situaci
Vedoucí práce	Ing. David Duchan, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Podklady:

- 1) Příčné a podélné profily úseku toku
- 2) Situace a digitální model terénu
- 3) Hydrologické podklady

Literatura:

- 1) Ven Te Chow, Open-Channel Hydraulics, 1959
- 2) Studijní opora "Proudění v systémech říčních koryt" a "Projekt vodní stavby".

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Na vybrané lokalitě bude provedeno ověření kapacity koryta. Dále budou stanoveny rozlivy při povodňových průtocích. Na základě hydraulických výpočtů bude proveden návrh úpravy toku a protipovodňové ochrany.

Výstupy:

- 1) Textová část
- 2) Mapové výstupy

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. David Duchan, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Tato práce popisuje posouzení kapacity řeky Chrudimky na říčním kilometru 87,837 až 93,173. Tok je posuzován na Q_{10} , Q_{50} a Q_{100} . V práci je popsán hydraulický výpočet v programu HEC-RAS. Na základě výsledků hydraulického výpočtu je navržena protipovodňová ochrana v místech rozlivů. Ta je následně ověřena kontrolním hydraulickým výpočtem. Rozlivy vody a navržená PPO je zakreslena v rámci výkresové dokumentace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Řeka, tok, kapacita toku, povodeň, protipovodňové opatření, HEC-RAS, CIVIL 3D.

ABSTRACT

This work describes the assessment of the capacity of the river Chrudimka on the river kilometers 87,837 to 93,173. The hydraulic computation was done for flow with periodicity of 10, 50 and 100. The calculation in the HEC-RAS program is described. Based on the results, flood protection is proposed. Flood protection is verified by a control hydraulic calculation. The results are outlined in the drawing documentation.

KEYWORDS

River, flow, flowcapacity, floods, floodprotection, HEC-RAS, CIVIL 3D.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Radim Zvolánek *Návrh úpravy toku s ohledem na povodňovou situaci*. Brno, 2018. 76 s., 5 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. David Duchan, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2018

Radim Zvolánek
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 25. 5. 2018

Radim Zvolánek
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl poděkovat Ing. Davidu Duchanovi, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce a především za jeho trpělivost, vstřícnost a profesionalitu, se kterou mi vysvětloval jakoukoliv problematiku. Velký dík patří také celému ústavu vodních staveb a to hlavně za získané znalosti během bakalářského studia. Nakonec bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za trpělivost a podporu v mém studiu.

Obsah:

1	Úvod.....	11
2	Cíle práce	12
3	Podklady.....	13
4	Popis zájmového území	13
4.1	Informace o lokalitě.....	14
4.2	Údaje o povodí	14
4.3	Údaje o toku.....	15
4.4	Hydrologické poměry	16
4.5	Čistota vody	17
4.6	Geologické poměry	17
4.7	Geografické poměry	18
4.8	Klimatické poměry	18
4.9	Životní prostředí.....	19
5	Popis stávajícího stavu toku	19
5.1	Významné stavby v okolí toku.....	19
5.2	Objekty na toku.....	19
5.3	Popis dílčích úseků.....	20
5.3.1	I. úsek - říční km 93,1733-92,3383	21
5.3.2	I. úsek - říční km 92,3383-91,5589	22
5.3.3	III. úsek - říční km 91,5589-90,6778.....	24
5.3.4	IV. úsek - říční km 90,6778-89,4662	26
5.3.5	V. úsek - říční km 89,4662-87,8366.....	31
6	Teoretická část.....	33
6.1	Typy proudění	33
6.2	Ustálené rovnoměrné proudění	33
6.3	Ustálené nerovnoměrné proudění.....	34
6.3.1	Metoda po úsecích.....	35
6.4	Ztráty	36
6.4.1	Ztráty třením	37
6.4.2	Místní ztráty	37

6.5	Profily o různých drsnostech jednotlivých částí	37
7	Podklady pro DMT	38
7.1.1	Formát SHP „Shapefile“	38
7.1.2	Formát DXF „Drawing exchange format“	38
7.1.3	Textový soubor .TXT	39
7.1.4	Mapové podklady WMS servery	39
8	DMT a HEC-RAS	39
8.1	Postup práce	39
8.2	Práce v HEC-RAS	41
8.2.1	Import do HEC-RAS	41
8.2.2	Zadávat objektů	42
8.2.3	Nastavení programu	43
8.2.4	Stanovení okrajových podmínek	43
8.2.5	Stanovení drsnostních součinitelů	44
8.2.6	Stanovení součinitele m pro jezy	45
8.2.7	Levees	46
8.2.8	Interpolace profilů	46
8.2.9	Výpočet	47
8.3	Hydrotechnické výpočty	48
8.3.1	Výpočty pro Q10	48
8.3.2	Výpočty pro Q50	49
8.3.3	Výpočty pro Q100	50
8.4	Zhodnocení kapacity a rozlivů	51
8.4.1	Zhodnocení Q10	51
8.4.2	Zhodnocení Q50	51
8.4.3	Zhodnocení Q100	52
8.5	Import dat do CIVIL 3D	53
8.5.1	Rozliv v ř.km 93,159 až 92,480	53
8.5.2	Rozliv v ř.km 89,505 až 89,443	54
8.5.3	Rozliv v ř.km 88,149 až 87,820	54
9	Návrh PPO	56
9.1	Typy PPO	56

9.1.1	Pevná PPO	57
9.1.2	Mobilní PPO	58
9.2	Návrh PPO na Q100	61
9.2.1	PPO v ř.km 93,159 až 92,480	62
9.2.2	PPO v ř.km 89,505 až 89,443	63
9.2.3	PPO v ř.km 88,149 až 87,820	64
10	Ověření kapacity koryta s PPO.....	66
10.1	Výpočet v HEC-RAS	66
10.2	Vyhodnocení výsledků.....	66
10.2.1	Výpočty pro Q10.....	67
10.2.2	Výpočty pro Q50.....	68
10.2.3	Výpočty pro Q100.....	69
10.3	Zhodnocení návrhu PPO	69
11	Závěr	70
12	Použité zdroje	71
	Seznam tabulek	72
	Seznam obrázků	73
	Seznam zkratk a symbolů.....	75
	Seznam příloh.....	76

1 Úvod

Povodeň je přírodní úkaz, který může být způsoben přívalovými srážkami, dlouhotrvajícími dešti, táním sněhové pokrývky a ve výjimečných případech technickou závadou jako například protržení přehrady.

Ve vybrané lokalitě došlo v minulých letech k rozsáhlým povodním, které sebou přinesly značné škody. Jednalo se zejména o roky 1997, 2002 a 2006, kdy se řeka Chrudimka rozlévala ze svého přirozeného koryta. Naším úkolem je zajistit bezpečnost občanů a ochranu jejich majetku, tudíž se budeme snažit tok důkladně analyzovat, najít kritická místa a navrhnout vhodné protipovodňové opatření.

2 Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je posoudit kapacitu vodního toku Chrudimka v říčním kilometru 87,173 až 93,837 na průtoky Q_{10} , Q_{50} a Q_{100} . Výpočtem provedeným v programu HEC-RAS budou zjištěna kritická místa, kde by došlo k vyhlížení vody z koryta. Tyto místa budou zaznamenána a bude navrženo protipovodňové opatření, (PPO) které bude následně prověřeno dalším výpočtem.

Cíle práce v bodech:

- Popis lokality a stavu toku.
- Výpočet kapacity koryta.
- Stanovení rozlivů při Q_{10} , Q_{50} a Q_{100} .
- Identifikace ohrožených oblastí a návrh PPO.
- Hydraulické ověření návrhu PPO.

3 Podklady

[A] Hydrologická data ČHMÚ.

[B] Mapy CUZK.

[C] Mapy DIBAVOD.

[D] Osa a staničení toku, Podklady Povodí Labe.

[E] Podélný profil, Podklady Povodí Labe.

[F] Příčné profily, Podklady Povodí Labe.

[G] 5G model, Podklady Povodí Labe.

[H] Fotodokumentace 2003, Podklady Povodí Labe.

[I] Fotodokumentace 2018, vlastní podklad, autor: Radim Zvolánek.

[J] Geodetické zaměření, GEOŠRAFO s.r.o.

[K] Textový soubor s profily z HEC-RAS.

Nutno podotknout, že podklady [B], [C] a [D] mezi sebou nejsou jednotné, rozdíly jsou zejména ve staničení.

4 Popis zájmového území

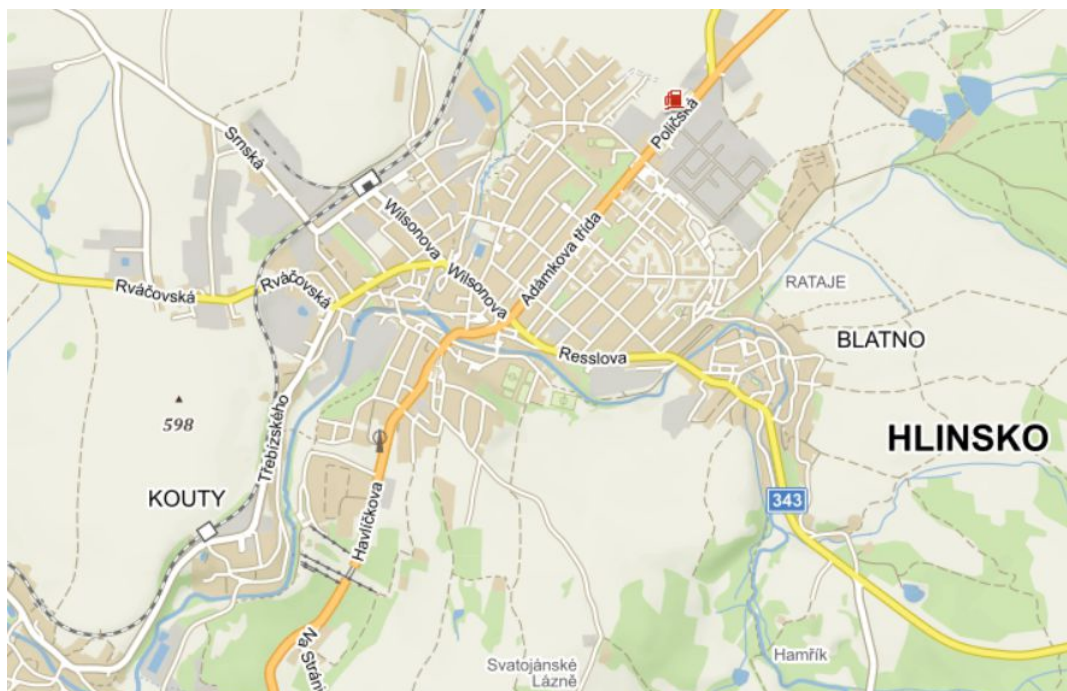
Vybraná lokalita se nachází ve východních Čechách. Tok Chrudimka zde protéká městem Hlinsko, které spadá dookresu Chrudim apod správu Pardubického kraje.



Obr.1 - Poloha města Hlinska na mapě ČR

4.1 Informace o lokalitě

Hlinsko je malé město, přibližně 30 km jižně od Pardubic (obr. 2). Leží na řece Chrudimce na Českomoravské vrchovině. Žije zde přibližně deset tisíc obyvatel. Městem prochází hlavní silnice spojující Havlíčkův Brod a Poličku, dále je zde železnice Havlíčkův Brod - Pardubice. Je to obec takzvaného III. typu, což znamená, že zajišťuje samosprávu i státní správu. K městu patří také městské části Blatno a Kouty.

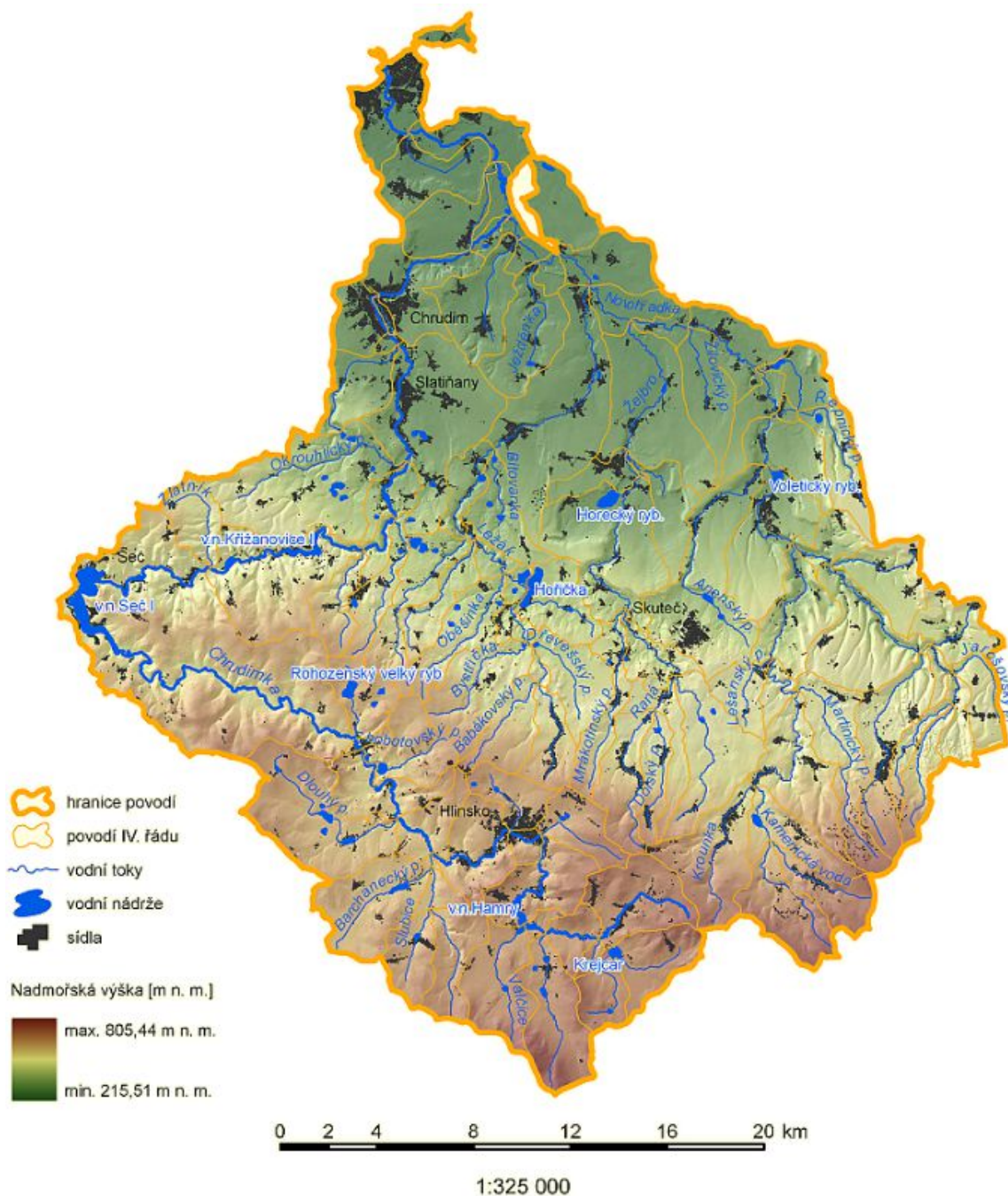


Obr.2 - Přehledná mapa města Hlinska

4.2 Údaje o povodí

Tok spadá do povodí Chrudimky, které je pod správou povodí Labe (obr. 3). Největším tokem povodí je právě řeka Chrudimka. V celém povodí se nachází také 83 vodních ploch větších než 1 ha s celkovou rozlohou 567,65 ha. Největším z nich je vodní nádrž Seč I, která má plochu hladiny 162,30 ha. [C]

- Povodí III. řádu
- Číslo povodí: HLGP_ID = 1-03-03-001/0 až 1-03-03-109/0
- Rozloha povodí: 866,21 km²
- Sousední povodí: povodí Doubravy
 - : povodí Svratky
 - : povodí Loučné
 - : povodí Labe
- Dílčí povodí: povodí Novohradky
 - : povodí Dlouhého potoka
 - : povodí Okrouhlického potoka
 - : povodí Slubice

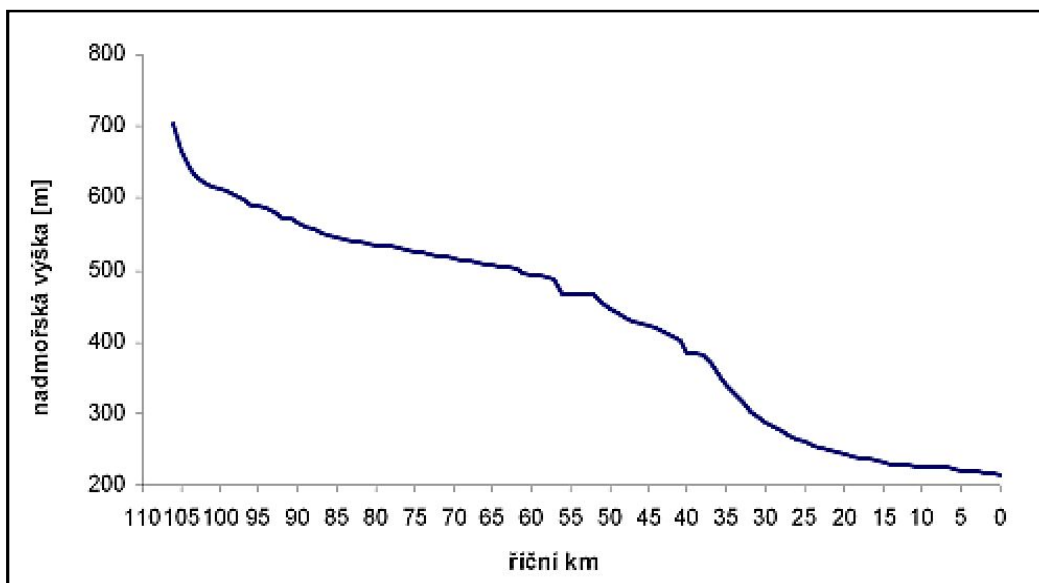


Obr.3 - Mapa povodí Chrudimky [C]

4.3 Údaje o toku

Chrudimka je levostranný přítok Labe, do kterého se vlévá u Pardubic na říčním kilometru 96,66 v nadmořské výšce 215,51 m. Pramení v Železných horách přibližně 7 km jihovýchodně od města Hlinska v nadmořské výšce 704,68 m. Celková délka toku činí 105,97 km. Největším přítokem je tok Novohradka na říčním kilometru 49,20 dle podkladů [C]. Podélný profil toku je zobrazen na obr. 4.

- Tok II. řádu (členění podle Gravelia)
- Identifikátor toku: TOK_ID = 105630000100
- Délka: 105,97 km



Obr.4 - Podélný profil toku [C]

4.4 Hydrologické poměry

Tok Chrudimka nepatří k největším tokům v ČR, zejména pak v okolí Hlinska. To je zapříčiněno tím, že prameniště řeky je kousek od Hlinska, dále je před městem vybudována Hamerská přehrada, která zadržuje velké množství vody, tudíž průtoky výrazně omezuje. Jako podklad hydrologických dat byl použit portál ČHMÚ odkud byly zjištěny tyto data: [A].

Hlásný profil číslo 35 (kategorie B):

Tok:	Chrudimka	Stanice:	Hamry		
Kraj:	Pardubický kraj	ORP:	Hlinsko	Obec:	Hamry
Provozovatel stanice:		ČHMÚ Hradec Králové			
Centrum automatického sběru dat:		VHD Povodí Labe Hradec Králové			
Staničení:	93.00 [km]	Číslo hydrologického pořadí:	1-03-03-009		
Plocha povodí:	57,17 [km ²]	Zeměpisné souřadnice:	15.91673 v.d. 49.7382798 s.š.		
Nula vodočtu:	588,79 [m.n.m.]	Procento plochy povodí toku:	6,6		
Stupně povodňové aktivity:		[cm] [m ³ .s ⁻¹]	Platnost SPA pro úsek toku:		
Bdělost		45 6,7	horní tok po VD Seč		
Pohotovost		55 10,1	Kritické místo:		
Ohrožení		60 12	Travná, Trhová Kamenice		
Průměrný roční stav:	15 [cm]	N-leté průtoky:	Q ₁	Q ₅	Q ₁₀ Q ₅₀ Q ₁₀₀
Průměrný roční průtok:	0,587 [m ³ s ⁻¹]	[m ³ s ⁻¹]	5,74	12,7	17,3 32,2 40,8
Odesílatel zpráv:		Četnost hlášení SPA:	I. 2 x denně		
Povodí Labe - obsluha VD Hamry			II. 3 x denně		
			III. 3hodinové hlášení		

4.5 Čistota vody

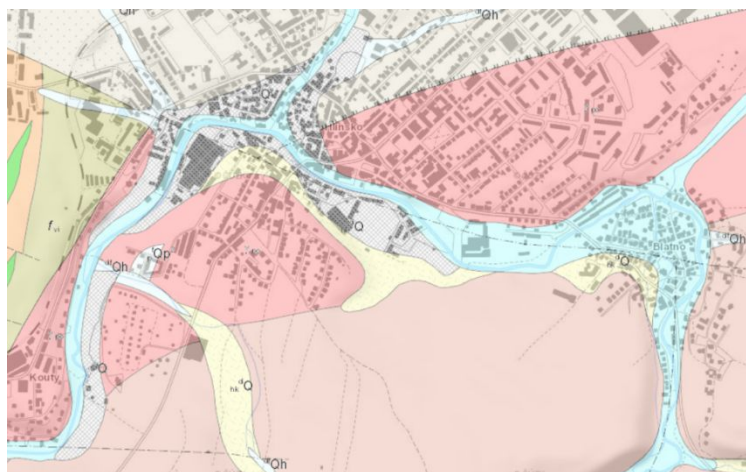
V této lokalitě lze předpokládat vysokou kvalitu vody, posuzovaný úsek se nachází přibližně 10 km od pramene a 3 km od Hamerské přehrady, která slouží jako zdroj pitné vod pro Hlinsko a okolní vesnice. Před Hlinskem není na vodní tok napojena ani žádná čistírna odpadních vod.

Kvalita vody v toku Chrudimka v lokalitě Hlinsko je uvedena v tab. 1.

Tab. 1 Ukazatelé jakosti vody v dané lokalitě

Ukazatel	jednotka	Min.	Max.	Průměr	Medián	C90	Imisní standardy
Teplota vody	°C	6,8	7,7	7,2	7,3	7,6	11
BSK ₅	mg/l	1,1	3,0	1,8	1,8	2,3	2
CHSK _{Cr}	mg/l	16,0	35,0	23,0	22,5	27,9	25
N-NH ₄ ⁺	mg/l	<0,01	0,09	0,04	0,04	0,05	0,03
N-NO ₃ ⁻	mg/l	0,6	2,0	1,3	1,3	1,7	4,5
P _{celk}	mg/l	0,01	0,04	0,03	0,03	0,03	0,05

4.6 Geologické poměry

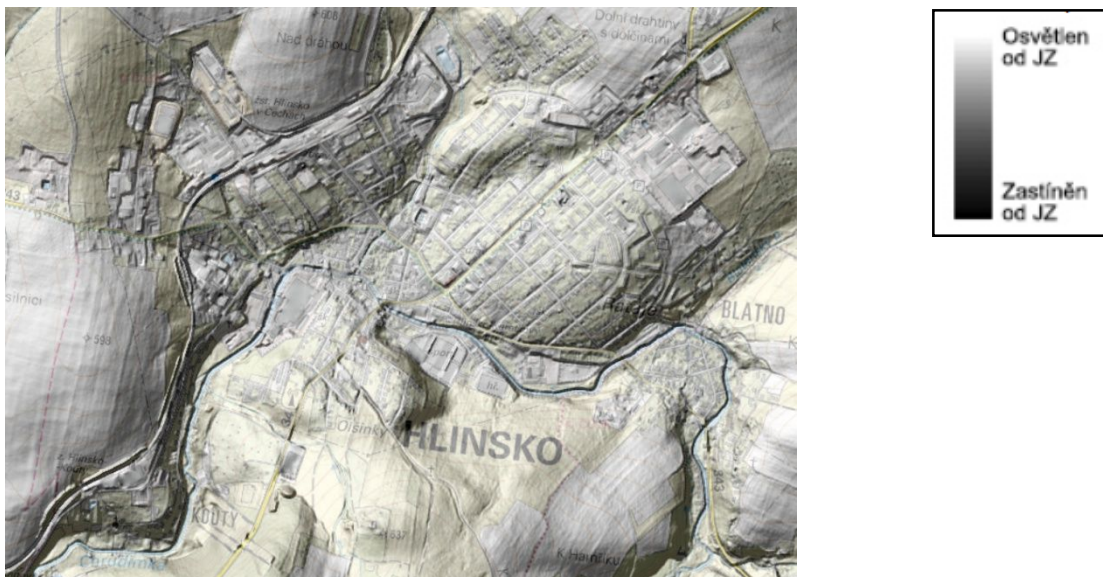


Obr. 5 - Geologická mapa

	středně zrnitý migmatit až ortorula		porfýrický metaryolit, porfyroid
	fluviální prachovité písky a štěrky		písčitohlinité sedimenty
	amfibol, místy metagabra		metadroby
	fylit		kataklastický granit
	fluviální hlinité písky		antropogenní uloženy
	deluviální hlinitokamenné sedimenty		fylitická břidlice

4.7 Geografické poměry

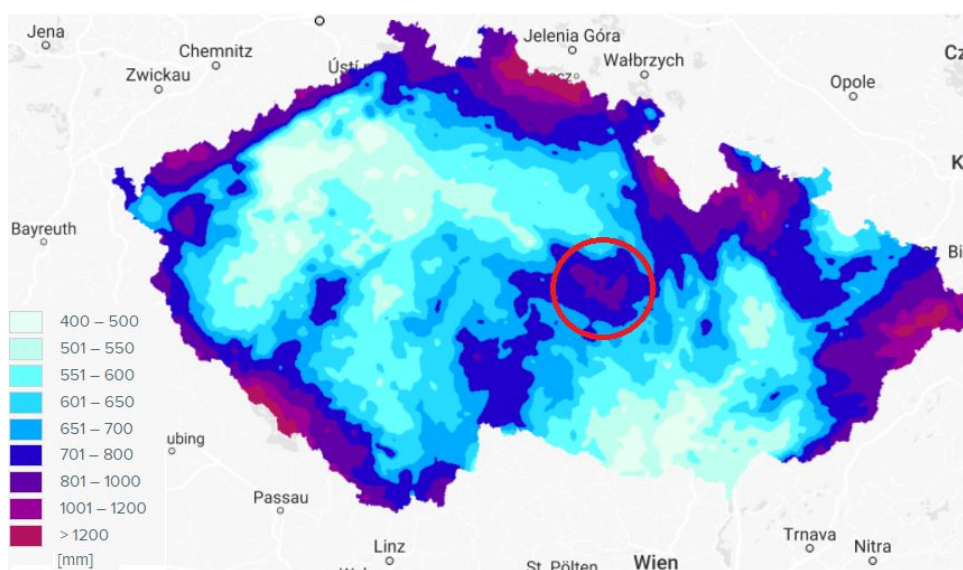
Terén v této lokalitě je dosti členitý, zejména se jedná o kopcovitost. Město Hlinsko se nachází na Českomoravské vrchovině, tudíž se zde nadmořská výška pohybuje od 550 do 670 m n.m. (obr. 6). Střed města leží v nejnižším bodě, kolem nadmořské výšky 550 až 560 metrů. Kolem města je celá řada kopců, které jsou osázeny listnatými a jehličnatými lesy. Dále jsou zde zemědělská pole a louky. Našli bychom i několik menších rybníků.



Obr.6 - Reliéf terénu - mapa stínovaného 5G modelu[4]

4.8 Klimatické poměry

Z hlediska klimatu lokalita zapadá do celorepublikového průměru. Počasí zde není nijak odlišné, jsou zde průměrné teploty, vlhkost a tlak vzduchu. Hlinsko však spadá do oblasti s vyšším srážkovým úhrnem (obr. 7).



Obr. 7 - Mapa ročního srážkového úhrnu [3]

4.9 Životní prostředí

Jak už bylo řečeno, město leží na Českomoravské vrchovině, na hranici Pardubického kraje s Vysočinou. Nedaleko se nachází CHKO Žďárské vrchy nebo údolí řeky Doubravky. Město Hlinsko si na životním prostředí zakládá, okolní příroda není ničím narušena. Samozřejmě je ve městě průmyslová zóna, ta by měla být však zcela izolována. Lze tedy říct, že blízké okolí i město samotné je šetrné k životnímu prostředí.

5 Popis stávajícího stavu toku

V této kapitole jsou popsány jednotlivé úseky toku. Úseky byly vybrány podle zdánlivé podobnosti typu koryta. Dále je zde vypsán seznam objektů, které se na toku nacházejí.

Staničení, sklonové poměry a příčné profily jsou převzaty z podkladů [D].

Vybraný úsek začíná Kamenným jezem (PF 75 - staničení 93,1733) a je ukončen mostem za ČOV (PF 44 - staničení 87,8366). Délka tohoto úseku je tedy 5,3367 km.

5.1 Významné stavby v okolí toku

Jak už bylo řečeno, tok protéká centrem města Hlinska a zde se nachází množství objektů, které je nutno ochránit před povodněmi. Mezi významné objekty a zařízení v těsné blízkosti toku patří například: pivovar, orlovna, zimní stadion, náměstí a nejdůležitější je kulturní památka zapsaná v UNESCO, hlinecký Betlém. Toto místo je na pravém břehu Chrudimky v centru města. Mezi ohrožené objekty patří samozřejmě i nemovitosti občanů.

5.2 Objekty na toku

Mezi objekty na této části toku patří jezové stavby, mosty a lávky (Tab. 2).

Tab. 2 - Seznam objektů

Č.	Profil [F]	Staničení [D]	Č. úseku	Typ objektu[F]	Č. foto [H]	Č. foto [I]
1	PF 75	93,1733	1	Kamenný jez	-	01
2	PF 70	92,3598	1	ŽB most šikmý Blatno	26	02
3	PF 68	92,0806	2	ŽB most Blatno	25	03
4	PF 67	91,9068	2	ŽB lávka Blatno	24	04
5	PF 65	91,5589	2	ŽB silniční most šikmý Blatno	23	05
6	PF 62	91,1232	3	Lávka s potrubím	22	06
7	PF 60	90,6478	3	ŽB Silniční most Hlinsko	21	07

Č.	Profil [F]	Staničení [D]	Č. úseku	Typ objektu[F]	Č. foto [H]	Č. foto [I]
8	PF 58	90,4531	4	ŽB silniční most Hlinsko	20	08
9	PF 57	90,3486	4	ŽB Lávka šikmá Betlém	19	09
10	PF 56	90,1906	4	ŽB silniční most šikmý v Hlinsku	18	10
11	PF 54	89,9309	4	Ocelový příhradový most	17	11
12	PF 53	89,7772	4	ŽB most v továrně	16	12
13	PF 52	89,4662	4	Stavidlový jez Kouty	15	13
14	PF 50	89,0287	5	Lávka ocelová Horalka	14	14
15	PF 47	88,5538	5	ŽB silniční most Kouty	13	15
16	PF 44	87,8366	5	ŽB most u ČOV	12	16

5.3 Popis dílčích úseků

Tok by l rozdělen na 5 dílčích úseků. Jednotlivé úseky jsou zobrazeny na Obr. 8.



Obr. 8 - Mapa rozčlenění koryta na úseky

5.3.1 I. úsek - říční km 93,1733-92,3383

Délka úseku: 835 metrů

Profily: PF75 až PF69

Tab. 3 – Seznam objektů na I. úseku

Čís.	Profil [F]	Staničení [D]	Č. úseku	Typ objektu[F]	Č. foto [H]	Č. foto [I]
1	PF 75	93,1733	1	Kamenný jez	-	01
2	PF 70	92,3598	1	ŽB most šikmý Blatno	26	02

Jedná se o první úsek, který se nachází na začátku města Hlinska, respektive Blatna. Úsek začíná kamenným jezem cca. 200 metrů od zástavby a končí železobetonovým silničním mostem. Koryto je zde zcela přirozené a kromě kamenného jezu do něj není nijak zasaženo. Má tvar lichoběžníku, hloubka se zde pohybuje okolo jednoho metru. Směrem k městu se koryto nepatrně zužuje a u přechodu na most jeho břehy stoupají. Okolo koryta je přirozený vegetační doprovod a po levé straně toku je zástavba rodinných domů.



Obr. 9 - Objekt číslo 1 - Kamenný jez před Hlinskem [I]



Obr.10 - Objekt číslo 2 - ŽB most šikmý Blatno[I]

5.3.2 I. úsek - říční km 92,3383-91,5589

Délka úseku: 779,4 metrů

Profily: PF69 až PF65

Tab. 4 - Seznam objektů na II. úseku

Čís.	Profil [F]	Staničení [D]	Č. úseku	Typ objektu	Č. foto [H]	Č. foto [I]
3	PF 68	92,0806	2	ŽB most Blatno	25	03
4	PF 67	91,9068	2	ŽB lávka Blatno	24	04
5	PF 65	91,5589	2	ŽB silniční most šikmý Blatno	23	05

Druhý úsek pokračuje od prvního silničního mostu ve stejné podobě jako v úseku prvním. Rozdíl je ten, že u mostu jsou břehy vysoko přibližně 3 metry a sklony svahů jsou o něco strmější. Dále po toku však břehy opět klesají a koryto se dostává do své přirozené podoby, tedy dno je místy kamenité či písčité a stěny koryta jsem vesměs hlinité s vegetačním doprovodem v podobě trávy a keřů.

Tento úsek se stáčí směrem vlevo a protéká středem Blatna v těsné blízkosti se zástavbou, přibližně v polovině tohoto úseku je železobetonová lávka pro pěší. Úsek je zakončen

železobetonovým mostem, který spojuje Blatno s Hlinskem. Ke konci úseku se břehy koryta opět zvedají. Nutno také zmínit pravý přítok, jedná se o Blatenský potok. Velikost tohoto přítoku je zcela zanedbatelná, což znamená, že jej do výpočtu uvažovat nebudeme.



Obr.11 - Objekt číslo 3 - ŽB most Blatno[I]



Obr.12 - Objekt číslo 4 - ŽB lávka Blatno[I]



Obr.13 - Objekt číslo 5 - ŽB silniční most šikmý Blatno[I]

5.3.3 III. úsek - říční km 91,5589-90,6778

Délka úseku: 881,1 metrů

Profily: PF65 až PF60

Tab. 5 - Seznam objektů na III. úseku

Čís.	Profil [F]	Staničení [D]	Č. úseku	Typ objektu	Č. foto [H]	Č. foto [I]
6	PF 62	91,1232	3	Lávka s potrubím	22	06
7	PF 60	90,6478	3	ŽB Silniční most Hlinsko	21	07

Třetí úsek navazuje na železobetonový most spojující Hlinsko s Blatnem. Zde je tvar koryta stále lichoběžníkový a břehy ve výšce přibližně 3 metry. Tento tvar si koryto ponechává po celém úseku. Až posledních 200 metrů břehy postupně klesají a dostáváme se k výšce maximálně 2 metry. V tomto úseku je přes tok postavena lávka pro pěší, pod kterou je také instalováno potrubí. Nutno zmínit, že v tomto úseku se po pravé straně nachází pivovar.

Úsek končí v centru města. Zde je postaven železobetonový most pro vozidla. Na levé straně od mostu se nachází zimní i fotbalový stadion. Po celou dobu tohoto úseku jsou stěny koryta zděné z kamene, ale jsou zcela zarostlé trávou a mechem, složení dna se oproti předchozím úsekům nemění.



Obr.14 - Objekt číslo 6 - Lávka s potrubím[I]



Obr.15 - Objekt číslo 7 - ŽB silniční most Hlinsko[I]

5.3.4 IV. úsek - říční km 90,6778-89,4662

Délka úseku: 1 211,6 metrů

Profily: PF60 až PF52

Tab. 6 - Seznam objektů na IV. úseku

Čís.	Profil [F]	Staničení [D]	Č. úseku	Typ objektu	Č. foto [H]	Č. foto [I]
8	PF 58	90,4531	4	ŽB silniční most Hlinsko	20	08
9	PF 57	90,3486	4	ŽB Lávka šikmá Betlém	19	09
10	PF 56	90,1906	4	ŽB silniční most šikmý v Hlinsku	18	10
11	PF 54	89,9309	4	Ocelový příhradový most	17	11
12	PF 53	89,7772	4	ŽB most v továrně	16	12
13	PF 52	89,4662	4	Stavidlový jez Kouty	15	13

Tento úsek je v samém centru města a začíná u železobetonového mostku. Dochází zde k výrazné změně v tvaru koryta. Od této chvíle si koryto drží obdélníkový tvar se šířkou přibližně 14 až 16 metrů. Stěny se pohybují ve výškách od 1,5 do 4 metrů a jsou vyzděny z kamene, dno je zde proměnlivé, místy kamenité, písčité i hlinité. Toto koryto vede až do městské části Kouty, kde je ukončeno stavidlovým jezem. Je zde také druhý přítok, tentokrát se jedná o potok Drachtinka, ale stejně jako u předchozího je jeho velikost zanedbatelná.

Tento úsek je z hlediska povodňové ochrany nejdůležitější, vede totiž kolem zmiňovaného Betléma, náměstí, orlovný a průmyslových objektů Technolen a Galvos.

Aktuální stav:

V roce 2003 proběhla na tomto úseku řeky rekonstrukce, jednalo se o vybudování stavidel celkem na třech místech. Jedná se o opatření, které je používáno při nízkých průtocích, z průtokové řady je zřejmé, že řeka Chrudimka v Hlinsku nevykazuje velké průtoky. Zejména v letních měsících jsou průtoky tak malé, že by korytem neprotékal skoro žádný průtok, koryto by vyschlo, s tím by přišel problém s ekosystémem, který v korytě je. Proto byla vybudována manipulovatelná stavidla, která v těchto měsících hradí koryto, čímž zadržují jistou hladinu a řeka tak nevysychá.

S protipovodňovou ochranou nemají hradidla nic společného, jejich vybudování navíc nijak neovlivnilo tvar koryta ani sklon dna. Při zvýšených průtocích musejí být stavidla otevřena, jelikož by náporu velké vody neodolala a konstrukce by byla zničena. S ohledem na tuto skutečnost nebudou ve výpočtu uvažována. Fotografie těchto hradících konstrukcí je na Obr. 16.

Další změna se týká stavidlového jezu v Koutech, ten byl v roce 2003 demontován a na jeho místě vznikla lávka pro pěší. Konstrukce lávky je založena na původních zavazovacích křídlech jezu. Tato situace byla vyřešena tak, že rozměry nové lávky byly zaměřeny a následně v programu HEC-RAS byl nahrazen stavidlový jez lávkou.



Obr. 16 - Stavidla z rekonstrukce 2003[I]



Obr.17 - Objekt číslo 8 - ŽB silniční most Hlinsko[I]



Obr.18 - Objekt číslo 9 - ŽB lávka Betlém[I]



Obr.19 - Objekt číslo 10 - ŽB silniční most šikmý Hlinsko[I]



Obr.20 - Objekt číslo 11 - Ocelový příhradový most[I]



Obr.21 - Objekt číslo 12 - ŽB most v továrně[I]



Obr.22 - Objekt číslo 13 - lávka pro pěší[I]



Obr. 23 - Objekt č.13 - původní stavidlový jez [H]

5.3.5 V. úsek - říční km 89,4662-87,8366

Délka úseku: 1 629,6 metrů

Profily: PF52 až PF44

Tab. 7 - Seznam objektů na V. úseku

Čís.	Profil [F]	Staničení [D]	Č. úseku	Typ objektu	Č. foto [H]	Č. foto [I]
14	PF 50	89,0287	5	Lávka ocelová Horalka	14	14
15	PF 47	88,5538	5	ŽB silniční most Kouty	13	15
16	PF 44	87,8366	5	ŽB most u ČOV	12	16

Poslední pátý úsek začíná lávkou pro pěší, která je vybudována na místě bývalého stavidlového jezu na říčním kilometru 89,4662, zde koryto přechází ze zděného obdélníku do původního přirozeného lichoběžníku. Dno i stěny koryta jsou původní, tak jako tomu bylo v prvním a ve druhém úseku. Tato část toku protéká městskou částí Kouty, je obklopena zástavbou převážně rodinných domů, dále protéká kolem sjezdovky a na konci úseku kolem ČOV. Tento úsek je zakončen železobetonovým mostem, přibližně 100 metrů za čistírnou odpadních vod.

Poslední objekt prošel rekonstrukcí v roce 2007, tehdy byl původní most nahrazen novým železobetonovým. Most je postaven na stejném místě. Rozměry nového mostu nejsou zaměřeny, proto budou pro výpočet použity stejné rozměry jako měl most předchozí.



Obr.24 - Objekt číslo 14 - Lávka ocelová Horalka[I]



Obr.25 - Objekt číslo 15 - ŽB silniční most Kouty[I]



Obr.26 - Objekt číslo 16 - ŽB most u ČOV[I]

6 Teoretická část

Jako zdroj informací, obrázků a rovnic pro tuto kapitolu byla použita skriptu Hydrauliky, Šulc, Jandora [1]

6.1 Typy proudění

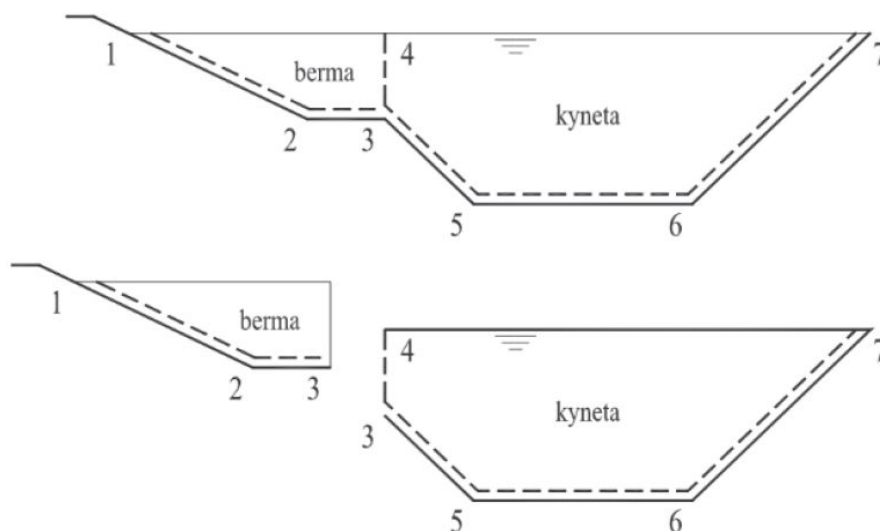
V této kapitole je popsáno proudění v korytech. Jedná se o proudění s volnou hladinou, kde je proud vody ve styku s oběma skupenstvími, pevným v podobě koryta a plynným v podobě styku hladiny se vzduchem.

Proudění vody v korytech můžeme zjednodušeně charakterizovat jako:

- **Ustálené proudění** – je specifický druh proudění, při kterém jsou hydraulické veličiny (průtok, průřezová rychlost a průtočná plocha) na čas nezávislé a závisí pouze na poloze
- **Neustálené proudění** – při tomto proudění jsou hydraulické veličiny závislé na čase i na poloze
- **Rovnoměrné proudění** – je specifický druh ustáleného proudění, při kterém jsou profily koryta po celé délce neměnné. Konstantní zůstává při ustáleném proudění i průtok, rychlost, sklon a drsnost dna. Tato koryta jsou ve většině uměle vybudována.
- **Nerovnoměrné proudění** – při nerovnoměrném ustáleném proudění jsou hydraulické veličiny konstantní v čase, ale průřezová rychlost a průtočná plocha se mění v závislosti na poloze, při nerovnoměrném neustáleném jsou hydraulické veličiny závislé také na čase.

6.2 Ustálené rovnoměrné proudění

Koryto může mít různý tvar, obecně máme dva typy koryt. Jednoduché, takové koryto je složeno pouze z kynety a může mít v podstatě libovolný tvar, nejčastěji však tvar lichoběžníku (obr. 28), nebo máme tvar koryta složený, kde nám ke kyneti přibyla také berma (obr. 27).

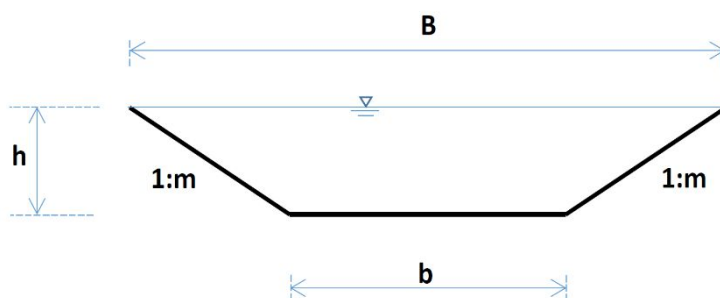


Obr. 27– Složené koryto

Výpočet jednoduchého lichoběžníkového koryta (obr. 28)

K výpočtu známe tyto charakteristiky:

- Sklon svahu 1:m (pro obdélník $m=0$)
- Drsnostní součinitel n
- Šířka ve dně b
- Podélný sklon dna koryta i_0
- Hloubka vody h



Obr. 28 – Jednoduché lichoběžníkové koryto

Tab. 8 – Výpočtové vztahy pro ustálené rovnoměrné proudění v lichoběžníkovém korytě

Popis	Označení	Výpočet	Jednotka
Průtočný průřez	A	$A = (b + m * h) * h$	m ²
Omočený obvod	O	$O = b + 2 * h * \sqrt{1 + m^2}$	m
Hydraulický poloměr	R	$R = \frac{A}{O}$	m
Rychlostní součinitel - dle Manninga - dle Pavlovského	C	$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$ $C = \frac{1}{n} R^y, y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R} * (\sqrt{n} - 0,1)$	m ^{0,5} /s
Průřezová rychlost	v	$v = C * \sqrt{R * i_0}$	m/s
Průtok	Q	$Q = v * A$	m ³ /s
Ztráta třením v korytě	h_t	$h_t = i_0 * L$	m

6.3 Ustálené nerovnoměrné proudění

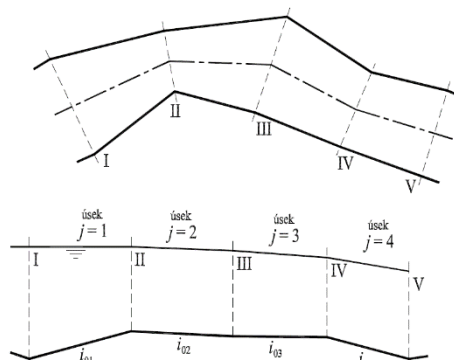
Ustálené nerovnoměrné se v přirozených korytech vyskytuje daleko častěji než ustálené rovnoměrné. Toto proudění se vyskytuje v korytech, jejichž průtočný průřez a sklon dna se mění po délce toku, ale průtok a rychlost proudění se v čase nemění.

Nerovnoměrnosti v korytě, jako je změna šířky, změna sklonu, nebo jakákoliv překážka, vytvoří v závislosti na charakteru buď křivku vzduť, nebo křivku snížení. To bude mít za následek, že hladina už nebude rovnoběžná se sklonem dna.

6.3.1 Metoda po úsecích

Výpočtové profily, ve kterých se počítá průběh hladiny, se vkládají do (obr. 29):

- směrových lomů koryta,
- výškových lomů koryta,
- drsnostních změn.



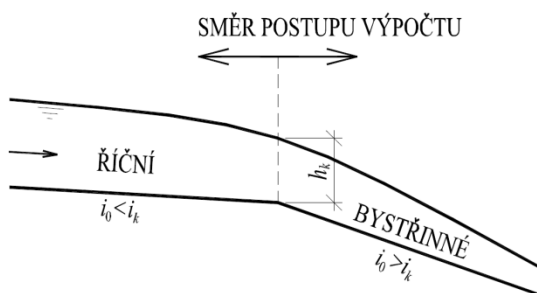
Obr. 29 – Rozdělení koryta na úseky

Vlastní řešení začíná vždy v profilu, kde je známá hloubka vody (zadaná okrajová podmínka):

- při říčním proudění např.:
 - hloubka vody před jezem
 - kritická hloubka vody při přechodu z říčního do bystřinného proudění
- při bystřinném proudění např.:
 - kritická hloubka vody při přechodu z říčního do bystřinného proudění

Postup při výpočtu průběhu hladiny je pak v závislosti na režimu proudění (obr. 30) následující:

- při říčním proudění postupujeme ze zadané hloubky v dolním profilu směrem proti proudu (okrajová podmínka se zadává do dolního profilu)
- při bystřinném proudění postupujeme ze zadané hloubky v horním profilu směrem po proudu (okrajová podmínka se zadává do horního profilu) [1]



Obr. 30 – Směr výpočtu při řešení nerovnoměrného proudění metodou po úsecích

Obecné koryto proměnlivého příčného profilu se rozdělí na úseky o délkách ΔL_j . V jednotlivých úsecích předpokládáme, že průtočné profily a tedy i rychlosti se mění spojitě z hodnot S_i, v_i v horním profilu na hodnoty S_{i+1}, v_{i+1} v dolním profilu. Necht' průměrný podélný sklon koryta daného úseku je i_{0j} a necht' celková ztrátová výška mechanické energie tohoto úseku je h_{zj} . Pak pro srovnávací rovinu proloženou dnem dolního profilu (ve směru proudění) plyne z Bernoulliho rovnice (6.1) pro všechna proudová vlákna profilů 1 a 2 (Obr. 31): [1]

Bernoulliho rovnice:

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_z \quad (6.1)$$

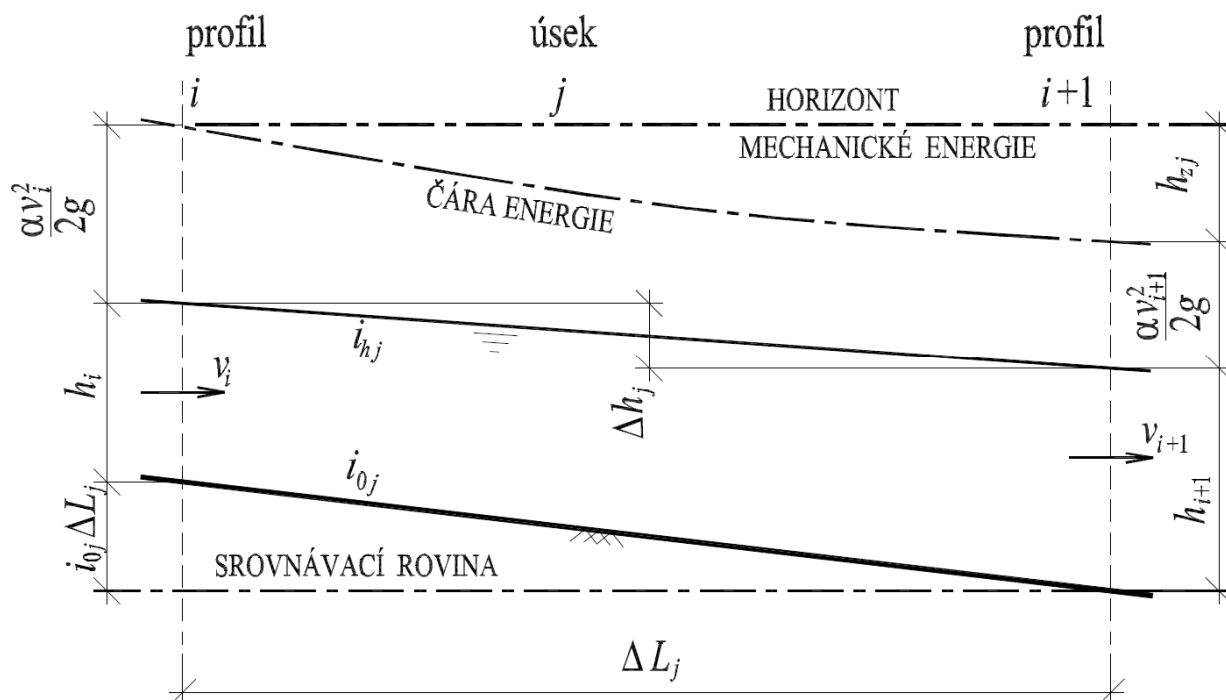
$$i_{0j} * \Delta L_j + h_i + \frac{\alpha v_i^2}{2g} = h_{i+j} + \frac{\alpha v_{i+j}^2}{2g} + h_{zj} \quad (6.2)$$

označíme-li rozdíl na úseku j Δh_j , pak platí:

$$\Delta h_j = i_{0j} * \Delta L_j + h_i - h_{i+1} \quad (6.3)$$

po úpravě obdržíme:

$$\Delta h_j = \frac{\alpha(v_{i+1}^2 - v_i^2)}{2g} + h_{zj} \quad (6.4)$$



Obr. 31 – Schéma pro výpočet nerovnoměrného proudění

6.4 Ztráty

Celkovou ztrátovou výšku h_{zj} na úseku j dostaneme jako součet ztrát třením h_{tj} a ztrát místních h_{mj} podle vztahu (6.5): [1]

$$h_{zj} = h_{tj} + h_{mj} \quad (6.5)$$

6.4.1 Ztráty třením

Ztrátovou výšku třením vyjadřujeme z Chézyho rovnice pro úsek j , který je ohraničen profily i a $i+1$:

$$h_{zt} = i_{pj} * \Delta L_j \quad (6.6)$$

kde i_{pj} je průměrný sklon čáry energie

6.4.2 Místní ztráty

Vyjadřují ztráty změnou průřezu a jsou způsobeny především tvarovými rozdíly mezi profily, můžeme vyjádřit jako část absolutní hodnoty rozdílu rychlostních výšek (6.7): [1]

$$h_{mj} = \xi \left| \frac{\alpha v_{i+1}^2 - \alpha v_i^2}{2g} \right| \quad (6.7)$$

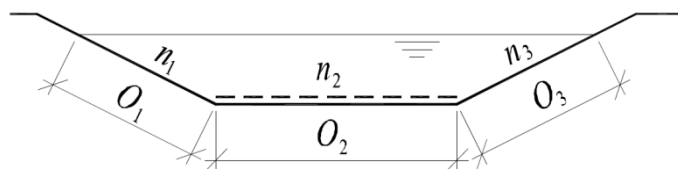
Kde ξ je součinitel místní ztráty (Tab. 9)

Tab. 9 – Součinitelé místní ztráty

Rozšíření ($v_i > v_{i+1}$)	Zúžení ($v_i < v_{i+1}$)
Pozvolné rozšíření: $\xi = 0,2 \sim 1,0$	Pozvolné zúžení: $\xi = 0,0 \sim 0,1$
Náhlé rozšíření: $\xi = 0,5 \sim 1,0$	Náhlé zúžení: $\xi = 0,5 \sim 1,0$

6.5 Profily o různých drsnostech jednotlivých částí

Má-li koryto jiné drsnosti stěn a dna (obr. 30), musíme určit výsledný drsnostní součinitel váženým průměrem podle vzorce (6.8)



Obr. 32 – Proměnný drsnostní součinitel

$$n = \frac{n_1 * O_1 + n_2 * O_2 + n_3 * O_3}{O_1 + O_2 + O_3} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i * O_i}{\sum_{i=1}^k O_i} \quad (6.8)$$

7 Podklady pro DMT

V této kapitole je popsáno, jaká vstupní data byla k dispozici a jaká byla použita při tvorbě DMT. Je zde i přidán jednoduchý popis těchto dat, k čemu slouží a jaké mají vlastnosti (tab. 10).

Tab. 10 – Podklady pro tvorbu DMT

Popis dat	Formát	Podklad
Příčné profily	DXF	F
Podélný profil	DXF	E
Osa toku	DXF	D
Staničení toku	DXF	D
Příčné profily - situace	DXF	D
5G model	PBD	G
Zaměření bodů	TXT	J
Ortofoto mapa	WMS server	B
Prohlížecká mapa	WMS server	B
DIBAVOD, vodní toky	SHP	C
Textový dokument – profily v HEC-RAS	TXT	K

7.1.1 Formát SHP „Shapefile“

Shapefily prostorově popisují geometrické body, linie a plochy: v mapách mohou například reprezentovat výšky, vrstevnice a lesy. Každý prvek pak může obsahovat atributy, které daný prvek popisují. Shapefile ukládá netopologickou geometrii a atributovou informaci pro prostorové prvky v jedné datové sadě. Geometrie prvku je ukládána v podobě vektorových souřadnic. Jeho velkou výhodou, oproti jiným datovým zdrojům, je rychlé vykreslování a možnost editace. [17]

7.1.2 Formát DXF „Drawing exchange format“

DXF je CAD formát vyvinutý firmou Autodesk, umožňující výměnu dat mezi AutoCADem a dalšími programy. V souboru DXF máme k dispozici příčné řezy, objekty na toku, podélný profil, staničení a osu toku.

7.1.3 Textový soubor .TXT

Textový soubor je počítačový soubor složený výhradně ze znaků. Kromě tisknutelných znaků a mezer mohou textové soubory obsahovat omezenou sadu řídicích znaků, zpravidla pouze znaky konce řádků a tabulátory.[17]

Máme k dispozici kompletní geodetický zápisník se zaměřenými body. V případě, že bychom tato data neměla k dispozici, museli bychom použít například program CIVIL 3D, nebo QGIS a body vyexportovat ze souboru shapefile.

7.1.4 Mapové podklady WMS servery

WMS servery jsou veřejné mapové servery, které nabízejí různé mapové úlohy. Tyto mapové úlohy jsou rozděleny do kategorií podle jejich tematického zaměření. Všechny úlohy jsou doprovázeny metadatovým popisem. WMS poskytují data v různých souřadnicových systémech pro všechny typy uživatelských aplikací zdarma a bez registrace. WMS servery jsou dostupné například z internetových stránek ČÚZK. [5]

8 DMT a HEC-RAS

8.1 Postup práce

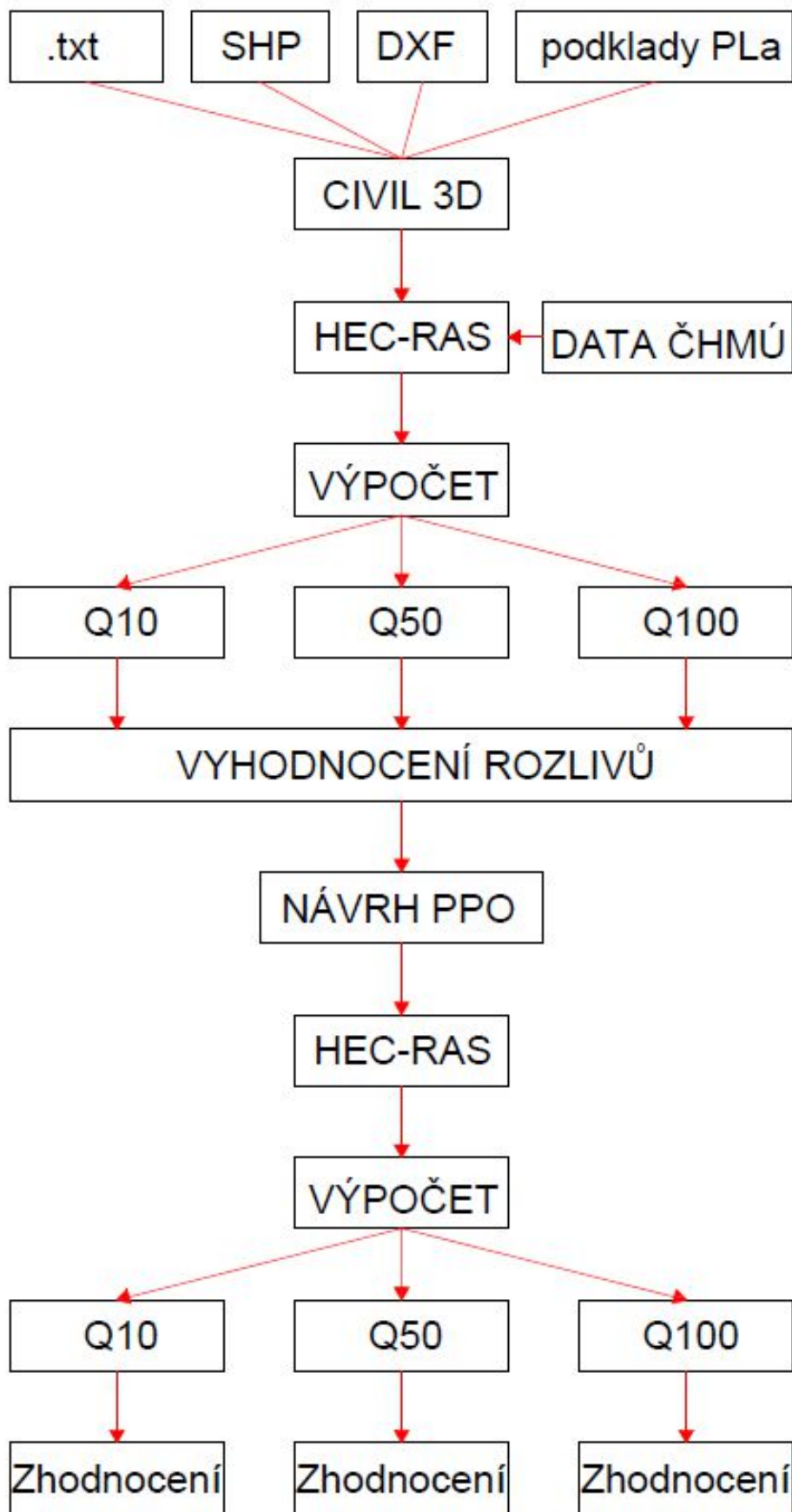
Tato kapitola představuje, jakým postupem bude celá práce provedena, jak bude vytvořen DMT a jaký bude postup výpočtu v programu HEC-RAS, dále bude provedeno vyhodnocení a případný návrh PPO.

Původní textový soubor 5G modelu bude nutno upravit a zkontrolovat, k čemuž využijeme program Microsoft EXCEL. Zde budou textová data rozdělena do sloupců a upravena tak, aby mohl být importovat do programu CIVIL 3D, kde bude použita (tzv. „vodařská šablona“), která je určena pro vodohospodářské projekty. Jako další krok bude vytvořen DMT ve formátu TIN. V programu budou připojeny WMS servery, připojena bude ortofoto mapa a klasické mapy prohlížeč z ČÚZK. Dále lze připojit soubory SHP s rozlivy a soubory DIBAVOD ze stránek VÚV TGM [7]. Následně se připojí soubory DXF s příčnými řezy, osou toku a staničením.

Do programu HEC-RAS budou zkontrolována, případně opravena data, která byla k dispozici a v programu budou vytvořeny objekty. Dále bude nutné zadat drsnosti koryta, počáteční a okrajové podmínky a následně se spustí výpočet pro průtoky Q_{10} , Q_{50} a Q_{100} .

Po výpočtu bude proveden export výsledků zpět do aplikace CIVIL 3D, kde budou vykresleny rozlivy při daných průtocích. Dále budou vyexportovány tabulky skapacitou a případným překročením břehové linie.

Následně bude navrženo protipovodňové opatření, které bude zakresleno v CIVIL 3D a bude proveden kontrolní výpočet.



Obr. 33 – Schéma postupu práce

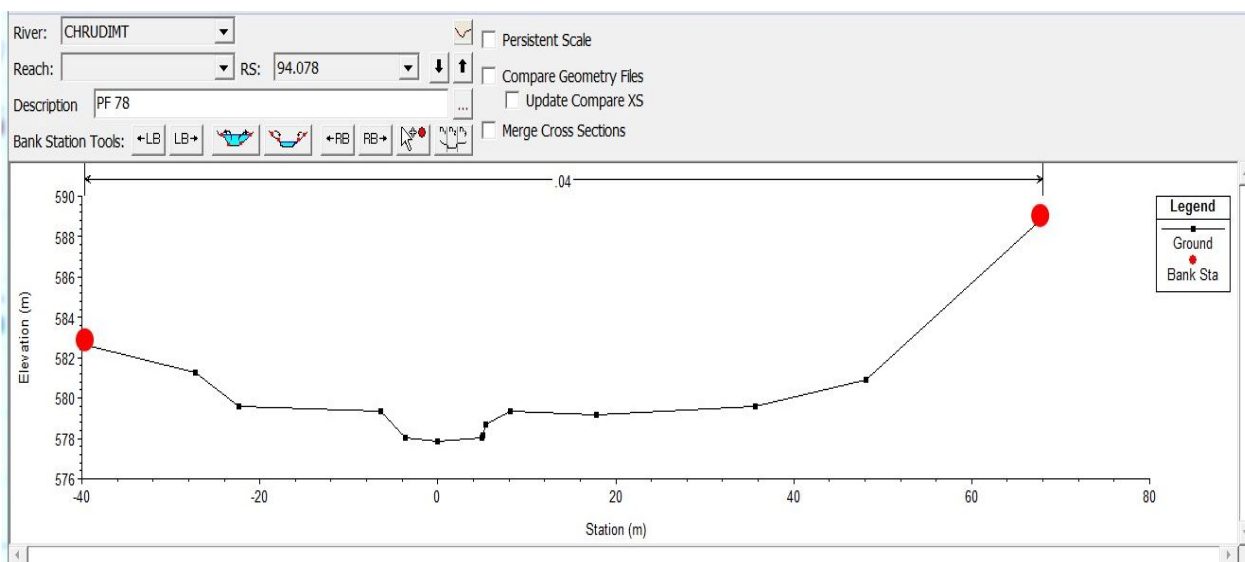
8.2 Práce v HEC-RAS

Pro analýzu hydrauliky koryta byl použit program HEC-RAS. Ten umožňuje jednorozměrný hydraulický výpočet, díky kterému bude zjištěna kapacita koryta.

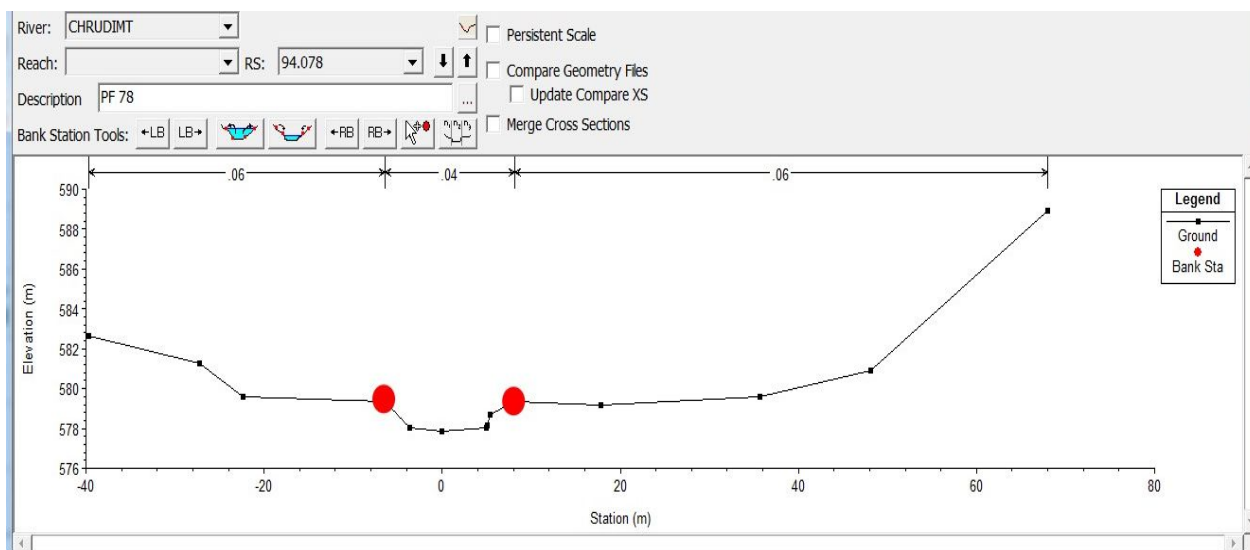
Výsledky této práce jsou v následující kapitole ve formě přehledných tabulek, podle kterých byly stanoveny rozlivy koryta a následné zhodnocení a návrh PPO.

8.2.1 Import do HEC-RAS

Byl k dispozici textový dokument exportovaný z programu HEC-RAS. V tomto podkladu byly nahrané jednotlivé profily a vytvořen tak základ pro první práce v tomto programu. Tyto profily byly následně zkontrolovány, byl vybrán pouze zájmový úsek, tudíž byly profily navíc odstraněny. Dále byly upraveny břehové linie, protože nebyly správně zadány.



Obr. 34 – Špatně zadané břehové linie v programu HEC-RAS (profil 78)

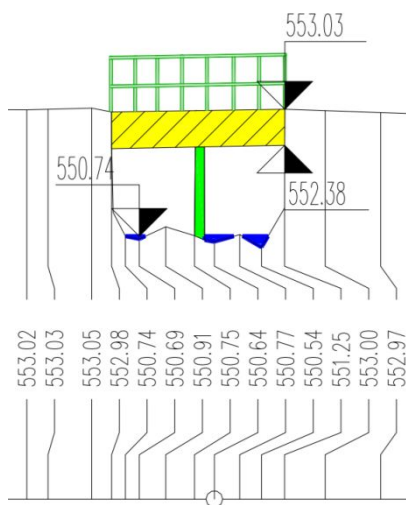


Obr. 35 – Opravené břehové linie v programu HEC-RAS (profil 78)

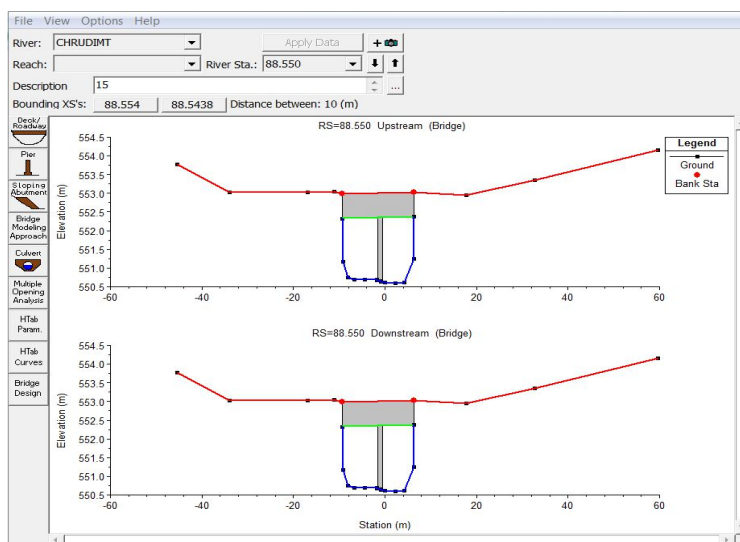
8.2.2 Zadávání objektů

Mosty byly zadávány přímo v programu pomocí funkce tomu určené. Tato funkce se nachází v okně „**Edit geometry data**“ a jmenuje se „**Edit or creat bridges nad culverents**“. U každého objektu byla vytvořena mostovka popřípadě pilíř.

Problém ohledně zábradlí byl vyřešen následujícím způsobem, bylo stanoveno pravidlo, které zní, pokud je mezi zábradlím otvor o rozměru minimálně 30 na 100 centimetrů, nebudeme zábradlí uvažovat a řekneme, že nebude mít vliv na proudění a případné unášené plaveniny se na zábradlí nezachytí. Pokud však bude otvor menší, budeme uvažovat jako zábradlí, které je zcela plné a zvýšíme tedy mostovku na jeho úroveň.

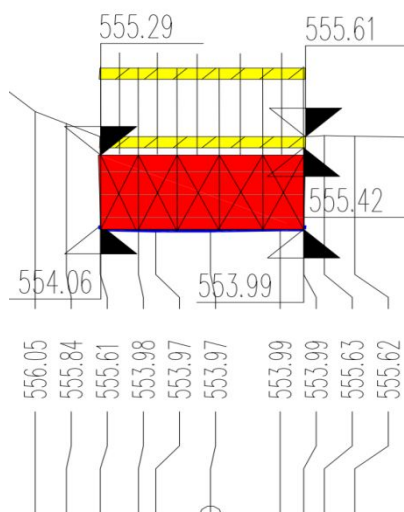


Obr. 36 – Objekt 15 (podklad [F])

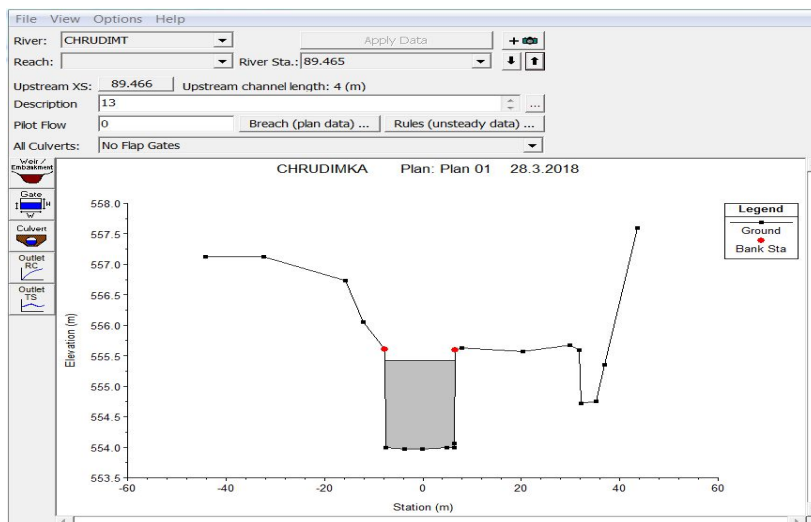


Obr. 37 – Zadání objektu 15 do programu HEC-RAS

Objekty v podobě přelivů byly zadány podobným způsobem jako mosty, tedy funkcí v programu, která se jmenuje „**Edit or creat inline structure**“. Výška jezu a všechny rozměry byly zjištěny opět z podkladu [F], tedy z výkresu příčných řezů.



Obr. 38 – Objekt 13 [F]



Obr. 39 – Zadání objektu 13 do programu HEC-RAS

8.2.3 Nastavení programu

V této fázi už jsou nahrány všechny profily a objekty, je tedy vytvořena geometrie. V této kapitole tedy přichází na řadu nastavování samotného programu. Musí být zvolen styl výpočtu, dále se musí určit okrajové podmínky a stanovit drsnosti koryta.

8.2.4 Stanovení okrajových podmínek

Do této kapitoly patří stanovování okrajových podmínek pro výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění. Patří sem zadání průtoků, pro které má být výpočet proveden. Zadáváme v program pod ikonou „**Steady flow data**“

V tomto případě budou zadány průtoky Q_{10} , Q_{50} a Q_{100} . Hodnoty těchto průtoků jsou z podkladu [A] Hydrologická data ČHMÚ. Tyto data jsou zadána na profilu, který se nachází na říčním kilometru 94,078. Tento profil se nachází cca 400 metrů před zájmovým územím, to proto, aby program začal počítat už před zájmovým úsekem a data byla tak přesnější a nevznikly tak zbytečně chyby.

Flow Change Location				Profile Names and Flow Rates		
	River	Reach	RS	Q10	Q50	Q100
1	CHUDIMT		94.078	17.3	32.2	40.8

Obr. 40 – Zadávání průtoků (Steady flow data)

Stanovení těchto podmínek určuje, jak bude výpočet probíhat, zda bude program počítat proti proudu. V tomto případě byla nastavena do horního profilu „**Critical depth**“ to znamená, že si bude program dopočítávat kritické hloubky. Do spodního profilu bude zadáno „**Normal depth**“, kde bude doplněn sklon koryta ve spodní části, který je 0,0028%. Podélný sklon byl určen z podélného profilu [F].

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
CHUDIMT		all	Critical Depth	Normal Depth S = 0.0028

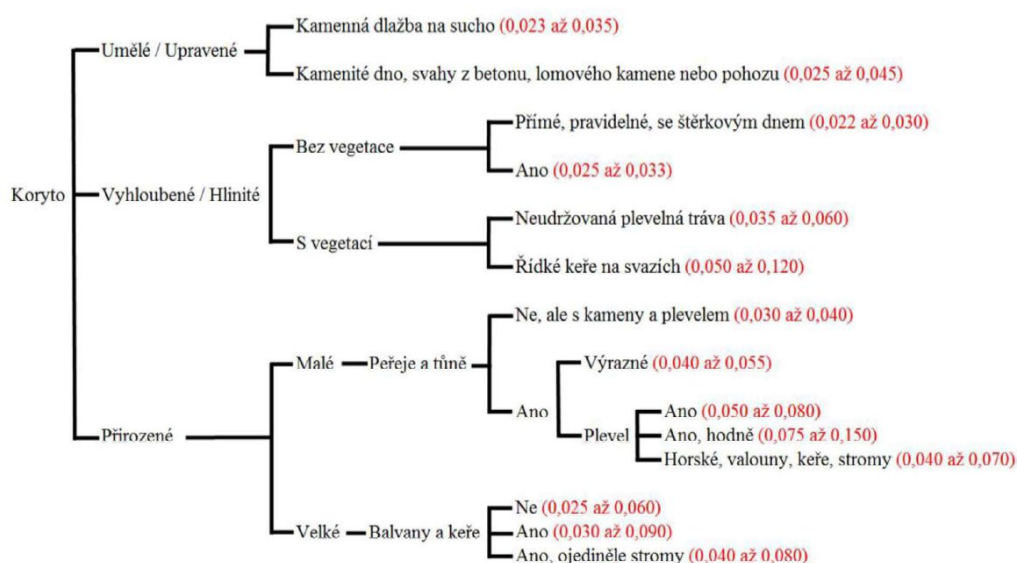
Obr. 41 – Zadávání okrajových podmínek (Steady flow data)

8.2.5 Stanovení drsnostních součinitelů

Stanovení drsnostních součinitelů je velmi náročné téma. Nikde totiž není přesně napsáno, jaké součinitele by se měli volit, je několik tabulek a metodik, ale nikdo přesně neřekne, která je nejlepší či nejpřesnější. Proto je toto téma závislé zejména na projektantovy pro jakou metodu se rozhodne a jaké součinitele zvolí.

V tomto případě bylo rozhodnuto tak, že budeme kombinovat více tabulek a metodik a pokusíme se získat co nejhodnější drsnostní součinitel.

Součinitele budou voleny na základě osobní prohlídky a fotodokumentace. Budou využity tabulky s drsnostními součiniteli podle Chowa [5]. a fotografický katalog drsností [6]. Dále budeme používat rozhodovací strom pro volbu drsnostního součinitele podle (obr. 42)



Obr. 42 – Rozhodovací strom pro volbu drsnostního součinitele v korytech [8]

Pro jednotlivé úseky byly stanoveny různé součinitele, jelikož se koryto po délce mění, mimo město a v okrajových částech je koryto přirozené, ale v centru je uměle vytvořené.

Tab.11 – Stanovení součinitele drsnosti

Úsek	Profil (od-do)	Staničení (ř. km)	Popis úseku	n dno	n stěny
1	75 – 69	93,1733-92,3383	Lichoběžník – přirozené – vegetace - stromy	0,040	0,060
2	69 – 65	92,3383-91,5589	Lichoběžník – přirozené – vegetace - keře	0,040	0,050
3	65 – 60	91,5589-90,6778	Lichoběžník – umělé – vegetace - tráva	0,040	0,045
4	60 -52	90,6778-89,4662	Obdélník – umělé – kamenné – bez vegetace	0,040	0,030
5	52 - 44	89,4662-87,8366	Lichoběžník – přirozené – vegetace - keře	0,040	0,050

Drsnosti u dna se tolik nemění z důvodu, že dno je v podstatě po celé délce písčitohlinité, občas s drobnými kameny. Místy je dno koryta značně zarostlé vegetací, proto bude v těchto místech bodově navýšena drsnost dna. U stěn koryta dochází k výraznějším změnám, a to z důvodu vegetace, před městem jsou celkem husté keře či stromy, proto je drsnost větší, než v centru, kde jsou stěny vyzděné z lomového kamene na maltu.

8.2.6 Stanovení součinitele m pro jezy

Stanovení součinitele přepadu je taktéž složité a diskutabilní téma. V odborné literatuře je popsáno několik typů přelivů. Hlavní rozdělení je na přeliv dokonalý či nedokonalý. Následně je několik typů jako například ostrohranné přelivy, jezové přelivy. Ty mohou být obdélníkové, lichoběžníkové a také přepad přes širokou korunu.

Každý typ má svůj specifický výpočet v našem případě však nebudeme podrobně tyto součinitele počítat, ale pokusíme se co nejlépe je odhadnout podle fotografií a osobní prohlídky.

K tomuto řešení bylo přistoupeno z jednoduchého důvodu, a to z toho, že volbě součinitele přepadu by mohla být věnována celá bakalářská práce, ale cílem této práce je posoudit kapacitu koryta a navrhnout vhodné protipovodňové opatření.

K volbě součinitele byla použita skripta Hydrauliky [1], ve kterých jsou tabulky pro různé typy přelivů.

Tab. 12 Stanovení součinitele přepadu

Č. obj.	Staničení [D] ř. km	Profil [F]	Č. Foto [I]	Typ přepadu podle [1]	m [1]	$M = m\sqrt{2g}$ [1]
1	93,1733	75	1	Nedokonalý - přes širokou korunu	0,35	1,55

Do programu zadáváme jako velké M do kolonky "**Weir Coef**", viz obr. 43.

Inline Structure Weir Station Elevation Editor

Distance	Width	Weir Coef
1	2	1.55

Clear Del Row Ins Row Filter...

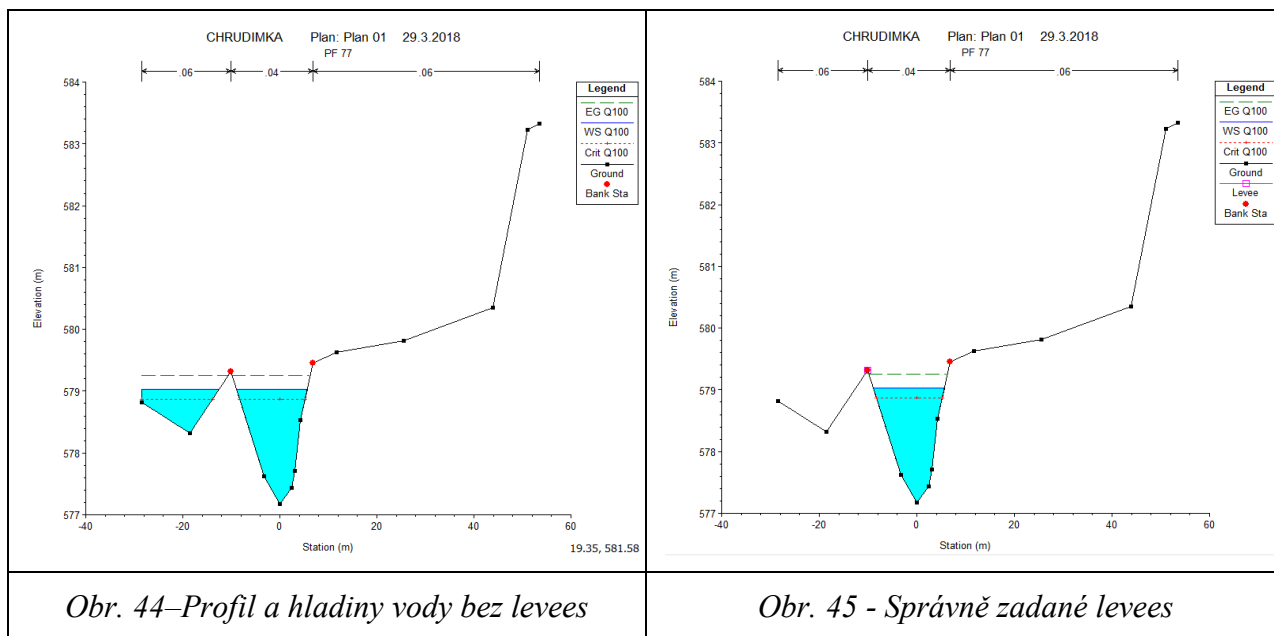
Edit Station and Elevation coordinates

	Station	Elevation
1	-20.	572.25
2	15.	572.25
3		

Obr. 43 - Zadávání součinitele přepadu do HEC-RAS

8.2.7 Levees

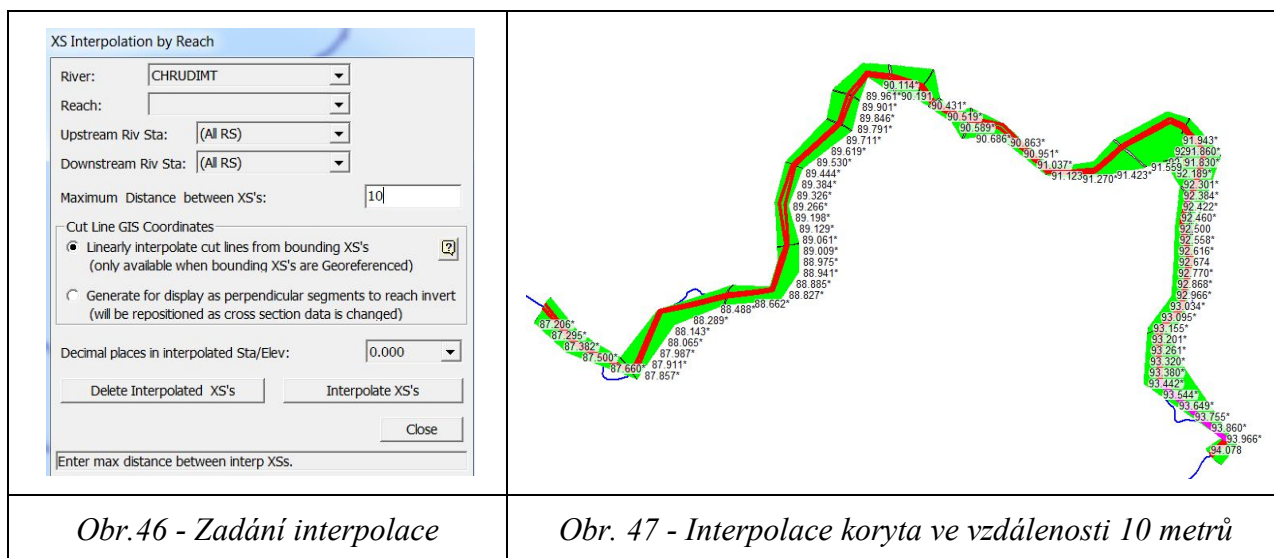
Tato funkce umožňuje speciální nastavení břehových linií, které zabrání chybnému rozliti vody do okolí koryta. Zadáním těchto bodů v podstatě bude určena linie, po kterou bude muset voda v korytě vystoupat. Až po jejím překročení se bude moci rozlít mimo koryto. Problematika je zachycena na obrázcích 44 a 45.



8.2.8 Interpolace profilů

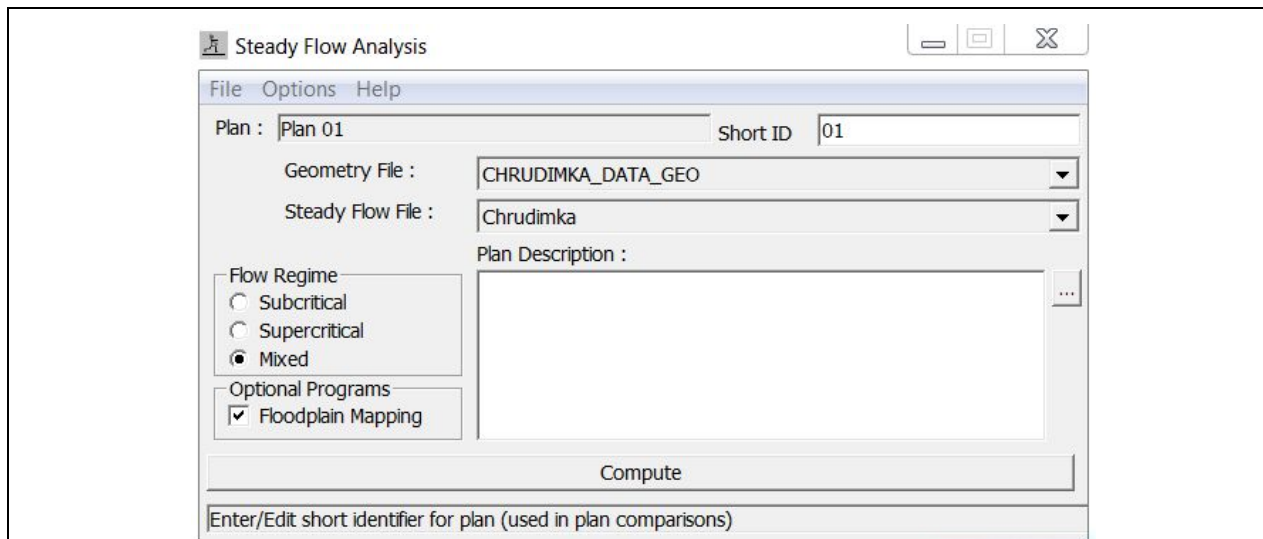
Interpolací koryta bude docíleno vyšší přesnosti výpočtu a zejména vykreslení podélného profilu. Zaměřené profily jsou od sebe vzdáleny místy až 300 metrů, a proto bude použita tato funkce, ta dokáže interpolovat profily tam, kde nejsou zaměřeny, program tak dokáže spočítat lépe průběhy hladin.

Pro zpřesnění výpočtu byla zadána interpolace ve vzdálenosti 10 metrů. Jediným místem, kde interpolaci program neprovede, jsou profily s objekty.



8.2.9 Výpočet

Jako poslední krok je spuštění výpočtu. U tohoto výpočtu bylo nastaveno "**Mixed**", to znamená, že je nastaven mixovaný typ proudění. Program si sám bude přecházet z režimu říčního do bystřinného a naopak, to nastává zejména v místech jezů, nebo v místech s výraznou změnou sklonu dna.



Obr. 48 - Spuštění výpočtu

8.3 Hydrotechnické výpočty

V této kapitole jsou interpretovány výsledky z programu HEC-RAS ve formě tabulek. Jsou zde tři tabulky pro jednotlivé průtoky. V každé tabulce je číslo profilu, staničení, kóta hladiny a kóty levého a pravého břehu a také sloupec s posouzením vybřežení.

8.3.1 Výpočty pro Q10

Tab. 13 - Výpočty pro Q10

Číslo	Staničení	Průtok	PF	Kóta hl.	Levý břeh	Pravý břeh	Vybřežení L	Vybřežení P
[-]	[ř. km]	[-]	[-]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[-]	[-]
1	93.173	Q10	75	572.79	573.01	573.00	NE	NE
2	93.159		74	572.28	572.73	572.44	NE	NE
3	92.988		73	571.60	571.48	572.56	ANO	NE
4	92.674		72	569.38	570.14	573.97	NE	NE
5	92.500		71	568.35	569.39	569.40	NE	NE
6	92.360		70	567.81	570.48	570.45	NE	NE
7	92.338		69	567.74	568.54	568.48	NE	NE
8	92.081		68	566.73	569.07	569.07	NE	NE
9	91.907		67	565.92	566.56	566.57	NE	NE
10	91.828		66	565.31	566.48	566.37	NE	NE
11	91.559		65	563.73	566.92	566.96	NE	NE
12	91.357		64	562.60	563.67	563.73	NE	NE
13	91.258		63	562.17	562.89	562.95	NE	NE
14	91.123		62	561.23	564.41	562.16	NE	NE
15	90.807		61	559.90	560.53	561.38	NE	NE
16	90.648		60	559.07	560.94	560.86	NE	NE
17	90.569		59	558.78	559.48	559.78	NE	NE
18	90.453		58	558.34	561.47	561.27	NE	NE
19	90.349		57	557.94	559.10	558.92	NE	NE
20	90.191		56	557.36	560.24	560.27	NE	NE
21	90.065		55	557.05	558.17	557.93	NE	NE
22	89.931		54	556.49	559.02	559.01	NE	NE
23	89.777		53	555.81	558.12	558.13	NE	NE
24	89.466		52	555.22	556.72	555.65	NE	NE
25	89.262		51	554.84	558.16	558.40	NE	NE
26	89.029		50	553.77	555.56	555.52	NE	NE
27	88.939		49	553.20	556.07	556.85	NE	NE
28	88.791		48	552.58	553.85	553.64	NE	NE
29	88.554		47	551.84	553.05	553.04	NE	NE
30	88.179		46	551.13	552.31	552.02	NE	NE
31	87.893		45	550.21	552.34	549.88	NE	ANO
32	87.837		44	549.84	551.20	550.61	NE	NE

8.3.2 Výpočty pro Q50

Tab. 14 - Výpočty pro Q50

Číslo	Staničení	Průtok	PF	Kóta hl.	Levý břeh	Pravý břeh	Vybřežení L	Vybřežení P
[-]	[ř. km]	[-]	[-]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[-]	[-]
1	93.173	Q50	75	572.96	573.01	573.00	NE	NE
2	93.159		74	572.66	572.73	572.44	ANO	ANO
3	92.988		73	571.61	571.48	572.56	ANO	NE
4	92.674		72	569.85	570.14	573.97	NE	NE
5	92.500		71	568.80	569.39	569.40	ANO	NE
6	92.360		70	568.23	570.48	570.45	NE	NE
7	92.338		69	568.17	568.54	568.48	NE	NE
8	92.081		68	567.13	569.07	569.07	NE	NE
9	91.907		67	566.27	566.56	566.57	NE	NE
10	91.828		66	565.69	566.48	566.37	NE	NE
11	91.559		65	564.14	566.92	566.96	NE	NE
12	91.357		64	563.05	563.67	563.73	NE	NE
13	91.258		63	562.65	562.89	562.95	NE	NE
14	91.123		62	561.66	564.41	562.16	NE	NE
15	90.807		61	560.28	560.53	561.38	NE	NE
16	90.648		60	559.41	560.94	560.86	NE	NE
17	90.569		59	559.12	559.48	559.78	NE	NE
18	90.453		58	558.69	561.47	561.27	NE	NE
19	90.349		57	558.28	559.10	558.92	NE	NE
20	90.191		56	557.74	560.24	560.27	NE	NE
21	90.065		55	557.42	558.17	557.93	NE	NE
22	89.931		54	556.91	559.02	559.01	NE	NE
23	89.777		53	556.25	558.12	558.13	NE	NE
24	89.466		52	555.73	556.72	555.65	NE	ANO
25	89.262		51	555.30	558.16	558.40	NE	NE
26	89.029		50	554.17	555.56	555.52	NE	NE
27	88.939		49	553.64	556.07	556.85	NE	NE
28	88.791		48	553.05	553.85	553.64	NE	NE
29	88.554		47	552.48	553.05	553.04	NE	NE
30	88.179		46	551.59	552.31	552.02	NE	NE
31	87.893		45	550.86	552.34	549.88	NE	ANO
32	87.837		44	550.52	551.20	550.61	NE	ANO

8.3.3 Výpočty pro Q100

Tab. 15 - Výpočty pro Q100

Číslo	Staničení	Průtok	PF	Kóta hl.	Levý břeh	Pravý břeh	Vybřežení L	Vybřežení P
[-]	[ř. km]	[-]	[-]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[-]	[-]
1	93.173	Q100	75	572.99	573.01	573.00	NE	NE
2	93.159		74	572.83	572.73	572.44	ANO	ANO
3	92.988		73	571.71	571.48	572.56	ANO	NE
4	92.674		72	570.05	570.14	573.97	ANO	NE
5	92.500		71	569.03	569.39	569.40	ANO	NE
6	92.360		70	568.44	570.48	570.45	NE	NE
7	92.338		69	568.39	568.54	568.48	NE	NE
8	92.081		68	567.32	569.07	569.07	NE	NE
9	91.907		67	566.44	566.56	566.57	NE	NE
10	91.828		66	565.87	566.48	566.37	NE	NE
11	91.559		65	564.35	566.92	566.96	NE	NE
12	91.357		64	563.26	563.67	563.73	NE	NE
13	91.258		63	562.86	562.89	562.95	NE	NE
14	91.123		62	561.86	564.41	562.16	NE	NE
15	90.807		61	560.45	560.53	561.38	NE	NE
16	90.648		60	559.57	560.94	560.86	NE	NE
17	90.569		59	559.30	559.48	559.78	NE	NE
18	90.453		58	558.86	561.47	561.27	NE	NE
19	90.349		57	558.46	559.10	558.92	NE	NE
20	90.191		56	557.92	560.24	560.27	NE	NE
21	90.065		55	557.59	558.17	557.93	NE	NE
22	89.931		54	557.10	559.02	559.01	NE	NE
23	89.777		53	556.47	558.12	558.13	NE	NE
24	89.466		52	555.97	556.72	555.65	NE	ANO
25	89.262		51	555.52	558.16	558.40	NE	NE
26	89.029		50	554.34	555.56	555.52	NE	NE
27	88.939		49	553.83	556.07	556.85	NE	NE
28	88.791		48	553.28	553.85	553.64	NE	NE
29	88.554		47	552.76	553.05	553.04	NE	NE
30	88.179		46	551.78	552.31	552.02	NE	NE
31	87.893		45	551.02	552.34	549.88	NE	ANO
32	87.837		44	551.01	551.20	550.61	NE	ANO

8.4 Zhodnocení kapacity a rozlivů

U každého průtoku byla posouzena kapacita a definován případný rozliv, ten je popsán vždy od místa, kde začíná, až po jeho konec. K popisu byly použity přesnější výsledky, které byly získány z programu HEC-RAS díky interpolaci. Tyto tabulky však nebudou prezentovány, jelikož byla interpolace provedena po 10 metrech, což znamená, že tabulka obsahuje přes 530 profilů, tudíž je nepřehledná a moc velká. Proto bylo přistoupeno k tomuto řešení.

8.4.1 Zhodnocení Q10

Koryto při průtoku desetileté vody je ve většině profilů kapacitní a nedochází k vybřežení. Dvě místa, kde se koryto rozlévá, jsou v okolí profilu 73 na říčním kilometru 92,988 a u profilu 45 na kilometru 87,893.

Tab. 16 - Podrobná charakteristika rozlivů při Q10

Profil	Ř. km	Vybřežení	Začátek	Konec
73	92,988	Levé	93,121	92,988
45	87,893	Pravé	87,942	87,846

Vybřežení na profilu 73 je levostranné, jeho délka je 133 metrů a hladina při průtoku Q10 převyšuje břeh přibližně 12 místy maximálně o 15 centimetrů.

Vybřežení na profilu 31 je pravostranné, jeho délka je 108 metrů a hladina převyšuje břeh o 30 až 35 centimetrů.

Je nutné zmínit, oba tyto rozlivy jsou mimo centrum města, tedy mimo tu část, kterou je nejdůležitější ochránit. Na začátku se jedná o okolí jezu, ten je zcela mimo zastavěnou oblast. Na konci se začíná koryto rozlévat za ČOV, tato oblast je také mimo zástavbu.

8.4.2 Zhodnocení Q50

Tab. 17 - Podrobná charakteristika rozlivů při Q50

Profil	Ř. km	Vybřežení	Začátek	Konec
74, 73	93,159	Levé	93,159	92,723
74	93,159	Pravé	93,159	93,131
71	92,500	Levé	92,658	92,490
52	89,466	Pravé	89,476	89,462
45, 44	87,893	Pravé	88,080	87,846

Levostranné vybřežení u profilů 74 a 73 je dlouhé přibližně 436 metrů a hladina převyšuje břeh o 20 až 30 centimetrů. Toto vybřežení začíná v místě kamenného jezu a končí u zástavby v městské části Blatno.

Pravostranné vybřežení u profilu 74 je necelých 30 metrů dlouhé, hladiny přesahuje břeh přibližně o 15 až 20 centimetrů.

Vybřežení u profilu 52 je pravostranné, jedná se omísto bývalého pohyblivého jezu. V současné době je zde lávka pro pěší. Rozliv je dlouhý 14 metrů a hladina je vyšší přibližně o 10 centimetrů výš než břeh.

Poslední vybřežení je u profilů 45 a 44. Jedná se o přelití pravého břehu v délce přibližně 329 metrů. Rozdíl výšky hladiny a břehů činí v tomto případě přibližně 0,5 až 1 metr.

Výsledek je takový, že koryto je v centru města zcela kapacitní, na začátku je rozliv, který se oproti Q10 blíží k zástavbě, ale stále by nedošlo k zaplavení nemovitostí. Dalším místem je okolí bývalého stavidlového jezu. Tam se voda rozlévá na volnou plochu, kde není zástavba. Posledním místem je opět úsek za ČOV, zde dochází k podstatně vyšším rozlivům, ale jedná se o území nezastavěné. Otázkou však zůstává, jak bude vypadat rozliv v obci Vítanov, kde je zástavba. Bohužel tento úsek je už mimo zájmové území. Závěrem lze říct, že kapacita koryta je ve většině profilů dostačující, případně by koryto vyžadovalo pouze lokální úpravy.

8.4.3 Zhodnocení Q100

Hodnocení kapacity a rozlivů při Q100 je nejdůležitější z hlediska návrhu protipovodňové ochrany. Právě na tento průtok bude navrženo PPO.

Tab. 18 - Podrobná charakteristika rozlivů při Q100

Profil	Ř. km	Vybřežení	Začátek	Konec
74, 73, 72, 71	93,159	Levé	93,159	92,480
74	93,159	Pravé	93,159	93,121
52	89,466	Pravé	89,505	89,443
45, 44	87,893	Pravé	88,149	87,820

Levostranné vybřežení od profilů 74 až po profil 71 je dlouhé 679 metrů a hladina převyšuje břeh o 20 až 50 centimetrů.

Pravostranné vybřežení u profilu 74 je necelých 40 metrů dlouhé, hladiny přesahuje břeh přibližně o 20 až 40 centimetrů.

Vybřežení u profilu 52 je podobné jako u Q50. Rozliv je dlouhý 72 metrů a hladina je vyšší přibližně o 30 centimetrů výš než břeh.

Poslední vybřežení je u profilů 45 a 44. Jedná se o přelití pravého břehu v délce přibližně 671 metrů. Rozdíl výšky hladiny a břehů činí v tomto případě přibližně 0,8 až 1,2 metru.

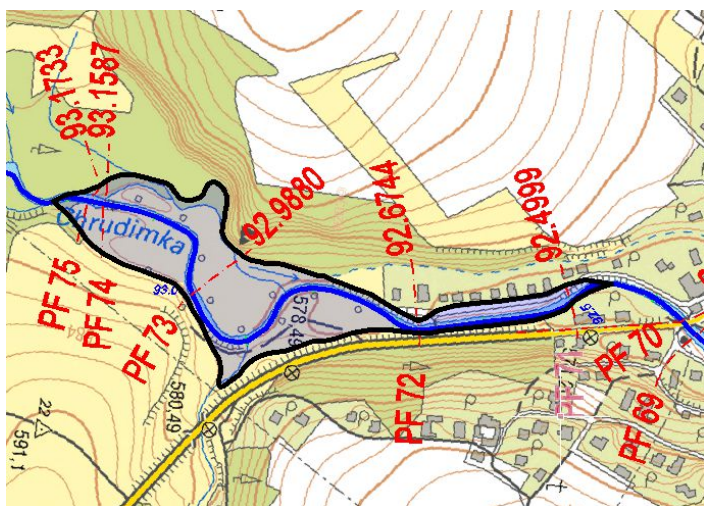
8.5 Import dat do CIVIL 3D

Data z výpočtu v programu HEC-RAS byly exportovány do programu CIVIL 3D, tam už byl v předchozím kroku vytvořen digitální model terénu. Nahráním vypočtených dat budou získány rozlivy a tím tak záplavové území při jednotlivých průtocích. Výkresy těchto rozlivů budou přiloženy k této práci.

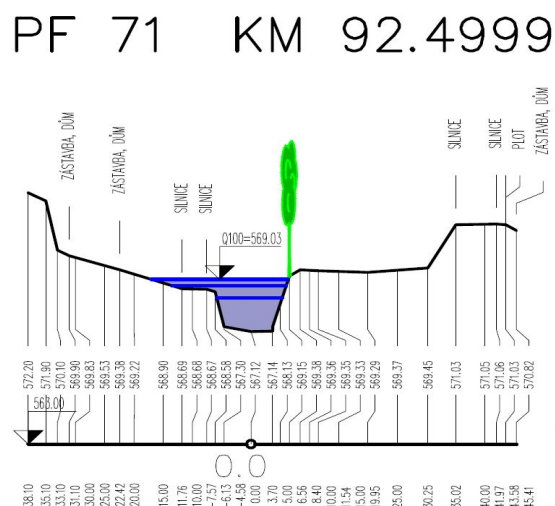
Prioritní jsou rozlivy při Q_{100} , proto budou v této kapitole blíže popsány.

8.5.1 Rozliv v ř.km 93,159 až 92,480

Jedná se o oboustranný rozliv, oba začínají u PF75, levý končí na říčním kilometru 92,480 a pravý na říčním kilometru 93,121.



Obr. 49 - Situace rozlivů na říčním kilometru
93,159 až 92,480



Obr. 50 - Příčný řez PF71 s rozlivem Q_{100}

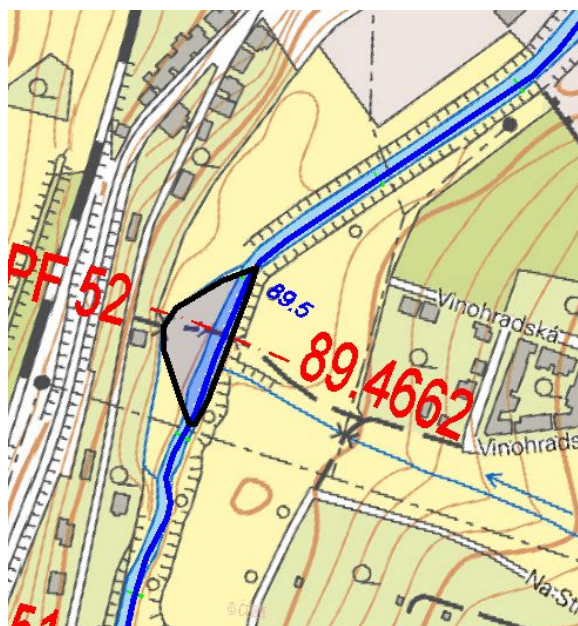
Místo těchto rozlivů je na začátku města Hlinska v městské části Blatno. Prvních přibližně 380 metrů je mimo zástavbu. Nacházejí se zde prázdné pláně, které jsou zarostlé vysokou trávou a křovinami.

Těsně před profilem PF72 se řeka dostává k zástavbě. Nemovitosti však nejsou ohroženy, u stoletého průtoku voda sahá pouze k pozemní komunikaci, která vede v těsné blízkosti. To můžeme vidět na příčném řezu PF71, který je na Obr.50.

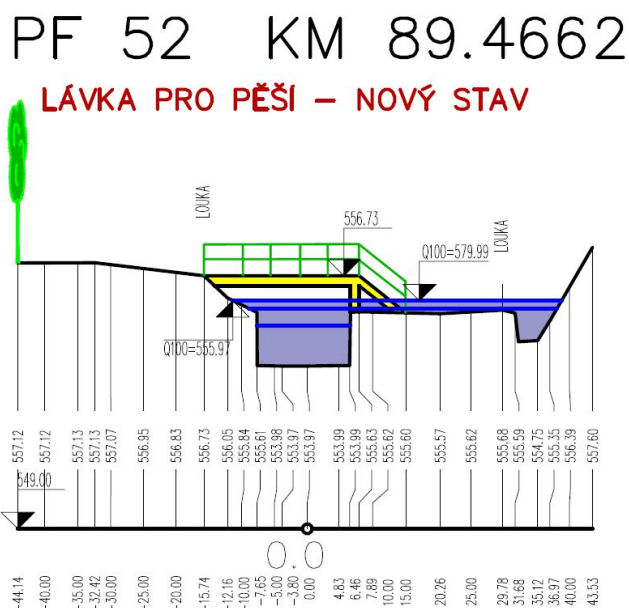
8.5.2 Rozliv v ř.km 89,505 až 89,443

Rozliv u PF 52, je nemenší, jeho délka je pouze 62 metrů. Místo tohoto rozlivu je za centrem města, v městské části Kouty.

Břeh koryta v tomto místě výrazně klesá, proto zde dojde k vybřežení, ale pokles není tak veliký, což znamená, že záplavové území je dosti malé. Nedojde k zatopení žádné nemovitosti, budou zaplaveny pouze travnaté plochy, které nejsou nijak využité.



Obr. 51 - Situace rozlivu na říčním kilometru 89,505 až 89,403



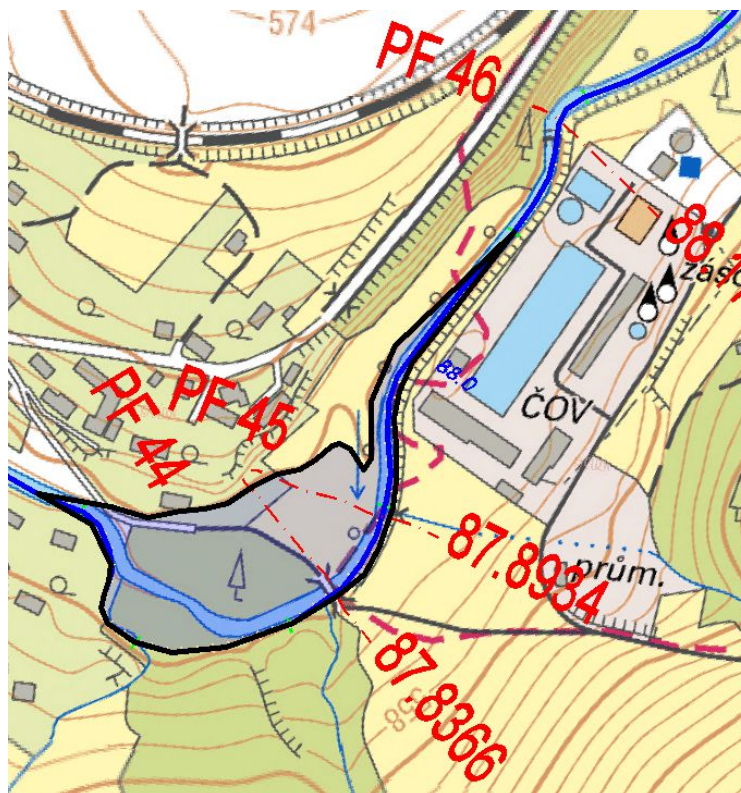
Obr. 52 - Příčný řez PF72 s rozlivem Q100

8.5.3 Rozliv v ř.km 88,149 až 87,820

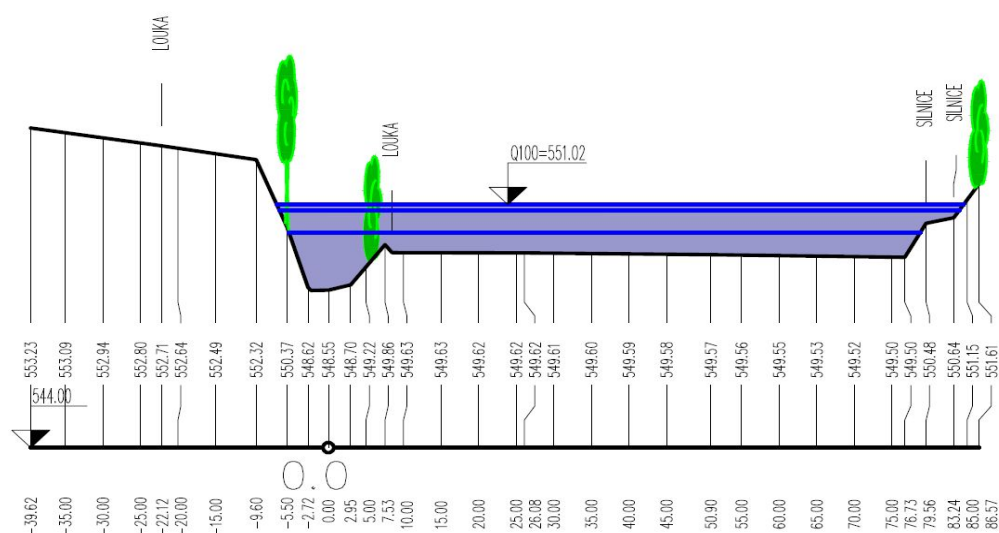
Jedná se o pravostranné vybřežení na profilech PF44 a PF45. Místo tohoto rozlivu je na samotném konci zvoleného zájmového úseku. Ten končí právě profilem PF44, na mapě si však můžeme všimnout, že záplavové území je vykresleno i dále. To díky tomu, že jsme měli v programu HEC-RAS rezervu přibližně 300 metrů před a za zvoleným úsekem. Proto bylo možné vykreslit záplavové území i za profil 44.

Lokalita těchto rozlivů je u hlinecké čistírny odpadních vod, naštěstí není čistírna v záplavovém území, je na protilehlé straně koryta a je dobře opatřena, neboť břehy Chrudimky jsou zde vyvýšeny.

Záplavové území je v podstatě na zatravněných plochách, nejsou zasaženy žádné nemovitosti, jen bude zatopena komunikace, která je napojena na ŽB most na profilu PF44.



PF 45 KM 87.8934



Obr. 54 - Příčný řez PF45 s rozlivem Q100

9 Návrh PPO

V této části se budeme věnovat návrhu protipovodňových opatření na místech, kde je koryto nekapacitní. Rozebereme si Návrhy PPO pro jednotlivé průtoky Q_{10} , Q_{50} , a Q_{100} . Následně tato opatření zakreslíme do CIVIL 3D a pokusíme se zjistit případné náklady při zhotovení těchto opatření.

9.1 Typy PPO

Protipovodňová opatření lze rozdělit na technická a netechnická podle schématu níže (obr. 49).



Obr. 49 – Schéma PPO [9]

Mezi netechnická opatření patří definování záplavových území a hlavně varování obyvatel před povodněmi, což sebou nese problematiku sledování průtoků, měření na hlásných profilech. To většinou zařizuje povodí, v tomto případě povodí Labe státní podnik. Povodí také průtoky vyhodnocuje a případně vyhláší stupně povodňové aktivity, následně varuje příslušný krajský orgán, ten se spojuje s okresy a obcemi. Jedná se o systém spolupráce, který musí být předem připraven. Využívá se povodňových plánů, plánů evakuací, na základě toho jsou mobilizovány jednotky záchranného sboru.

Technická opatření jsou v podstatě opatření, která jsou budována tak, aby žádné záplavové území nevzniklo. Opatření můžeme dělit na pevná nebo mobilní:

Pevná

- Zkapacitnění koryta
- Rozšíření koryta o bermy
- Ochranné hráze
- Protipovodňové stěny

Mobilní

- Mobilní stěny
- Mobilní hrazení
- Pytle napuštěné vodou
- Pytle s pískem

9.1.1 Pevná PPO

Pevným protipovodňovým opatřením je myšleno takové opatření, které je vybudováno na stálo. Jedná se tedy o stavbu, která se nedá demontovat a přemístit.

Rozšiřování koryta

V místech, kde je to možné, je nejlepším řešením koryto rozšířit. Koryto je ve většině případů tvořeno pouze kynetou, jako vhodné protipovodňové opatření je přidání bermy na jedné či na obou stranách, tím se podstatně navýší kapacita koryta. Nevýhodou tohoto opatření je potřeba velkého prostoru pro vybudování bermy a také ekonomická náročnost.



Obr. 50 – Ukázka koryta s bermami po obou stranách[10]

Ochranné hráze

Jedná se o pevné stálé opatření, které je vybudováno jako násyp zeminy, obvykle zatravněný. Může být podél koryt, ale i jinde k ochraně daného území. Tento typ opatření je vhodné volit mimo zastavěná území, jelikož se jedná o rozsáhlé opevnění, které vyžaduje dostatek prostoru.



Obr. 51 – Ukázka ochranné hráze[11]

Protipovodňové stěny

Zed' je vhodnou náhradou hrázek v místech, kde na ně jednoduše nemáme místo. Jedná se o prvek, který funguje úplně na stejném principu, tedy navýšení břehů koryta. Nejdůležitější konstrukční věci u zdi je dostatečná hloubka základů, dostatečná tíha a tuhost konstrukce tak, aby voda zed' nevyvalila, neposunula či jinak nepoškodila.



Obr. 52 – Protipovodňová stěna[12]

9.1.2 Mobilní PPO

Mobilním opatřením je myšlena taková ochrana, která se dá přemísťovat podle potřeby. Tuto ochranu nejčastěji zajišťuje město nebo HZS, a je využívána podle potřeby na postižených místech. V období, kdy opatření nepotřebujeme, je uskladněno na předem určeném místě, kde čeká na další použití.

Mobilní stěny

Jedná se o konstrukci, která se skládá ze sloupků a desek. Sloupky jsou buď na pevně připraveny na místě, nebo jsou pro ně připraveny otvory, kam se v případě potřeby zasunou. Mezi sloupky se následně nasouvají desky. Konstrukce záleží na výrobcích, ale v jádru se jedná o tento systém. Lze postavit stěnu do výšky až tři metry, teoreticky by se daly stavět i větší konstrukce, ale bylo by to nepraktické z hlediska větších a daleko těžších dílů. Čím menší stěna, tím snadnější je manipulace a stavění.



Obr. 53–Mobilní protipovodňová stěna[13]

Mobilní hrazení

Mobilní hrazení je konstrukce, která nepotřebuje vůbec žádné přípravy. Lze použít ve městech na hladký povrch jako jsou silnice a chodníky.



Obr. 54 – Mobilní hrazení[14]

Pytle napouštěné vodou

Jedná se o jednoduchý systém, který dodává několik firem na českém trhu. Jsou to pytle, nebo větší vaky, které se napouštějí vodou a tvoří tak hrazení. Výhodou této metody je vysoká flexibilita, přizpůsobení se terénu, snadná příprava a cenová dostupnost.



Obr. 55 – Vaky napuštěné vodou (GUMOTEX)[15]

Pytle s pískem

Pytle s pískem jsou snad nejjednodušší ochranou, samozřejmě do jisté výšky hrazení, ale největší výhodou tohoto systému je dostupnost, snadná manipulace a cenová dostupnost.



Obr. 56 – Hrazení z pytlů plněných pískem[16]

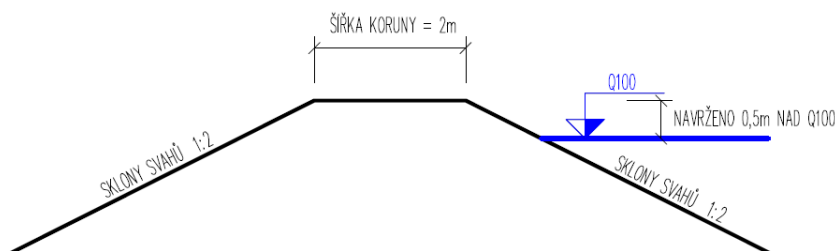
9.2 Návrh PPO na Q100

Na začátek je nutné říci, že rozlivy, které byly stanoveny výpočtem, jsou mimo zastavěná území, nedochází tak k ohrožení obyvatel. Tudíž je na zvážení, zda je nutné tyto plochy ochraňovat, jedná se ve většině případů o zatravněná území.

Pokud bychom chtěli území chránit, použili bychom technická opatření v podobě hrázek a protipovodňových zdí. Ukázka takového řešení je popsána v následujících kapitolách.

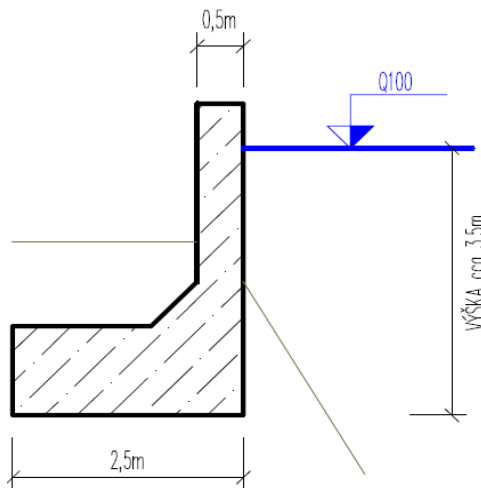
Jak už bylo zmíněno, protipovodňové opatření bude navrženo na stoletý průtok. Rozlivy u stoletého průtoku jsou celkem na třech místech, jejich celková délka tvoří 1462 metrů. Primárně bude navrženo opatření pevné. Typ bude volen hlavně z hlediska funkčnosti a proveditelnosti, ale také z hlediska estetického a ekonomického.

Ve většině případů budou použity povodňové hrázky. Ty budou tvořeny místní zeminou, ideálně v podobě písčité hlíny či jílovitého písku, nebo jiný stabilní a nepropustný materiál. Následně budou hrázky ohumusovány a osety. Sklony svahu jsou navrženy v poměru 1:2 a šířka koruny hrázek bude 2 metry. Výšky hrázek se budou po délce měnit, ale jsou navrženy tak, aby koruna přesahovala hladinu návrhového průtoku o půl metru. Příčný řez hrázkou je na Obr. 57.



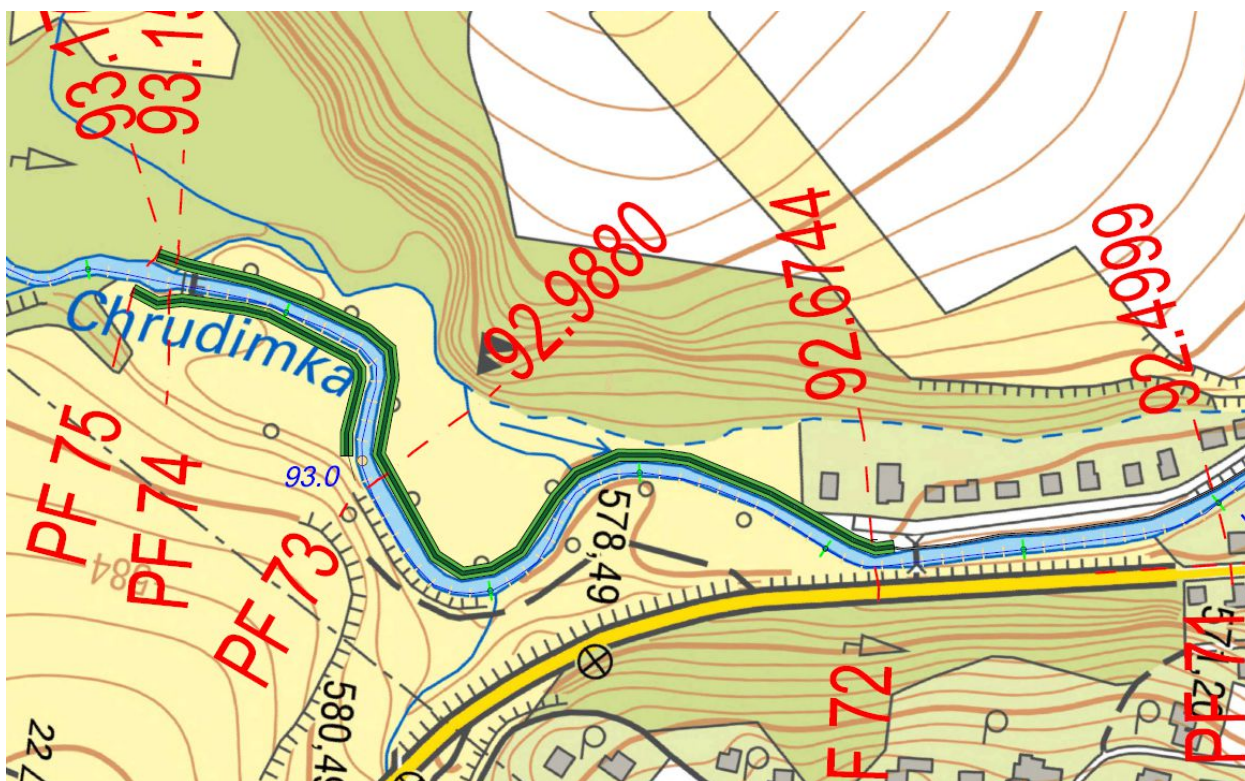
Obr. 57 - Příčný řez hrázkou

Dalším typem opatření, který bude navržen, jsou protipovodňové stěny. Jedná se o železobetonovou zeď, která je zobrazena na Obr. 58. Rozměry a tvar je pouze ilustrativní, přesné rozměry budou určeny statickým výpočtem.



Obr. 58 - Příčný řez protipovodňovou stěnou

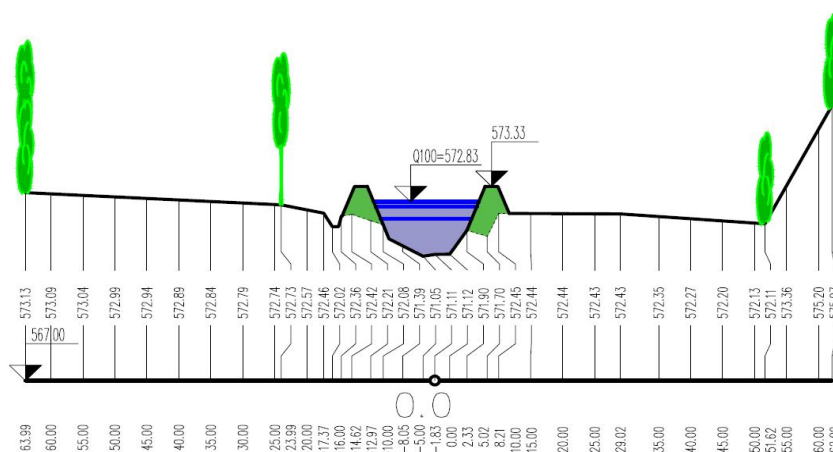
9.2.1 PPO v ř.km 93,159 až 92,480



Obr. 59 - Situace PPO na úseku 93,159 až 92,480

Od profilu PF75 po PF72 bude opatření v podobě hrázek, polohu můžeme vidět na Obr. 59. Hrázky jsou navrženy v místě před městem Hlinskem a mimo zastavěné území. Právě toto území umožňuje umístit prostorově náročné opevnění v podobě hrázek. Naopak toto opevnění je však ekonomické a snadno proveditelné. Na Obr. 60 lze vidět, jak budou hrázky u koryta umístěny.

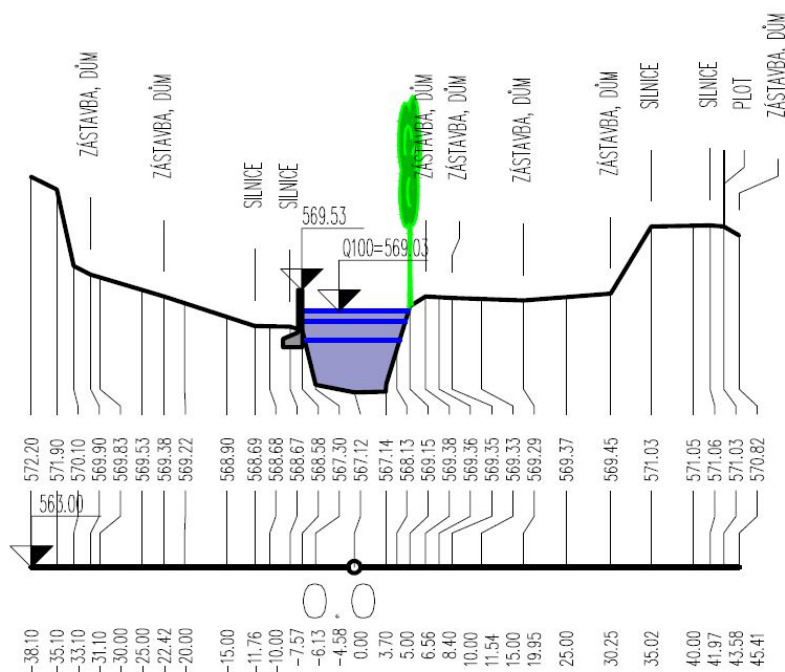
PF 74 KM 93.1587



Obr. 60 - Příčný řez PF75 s PPO v podobě hrázek

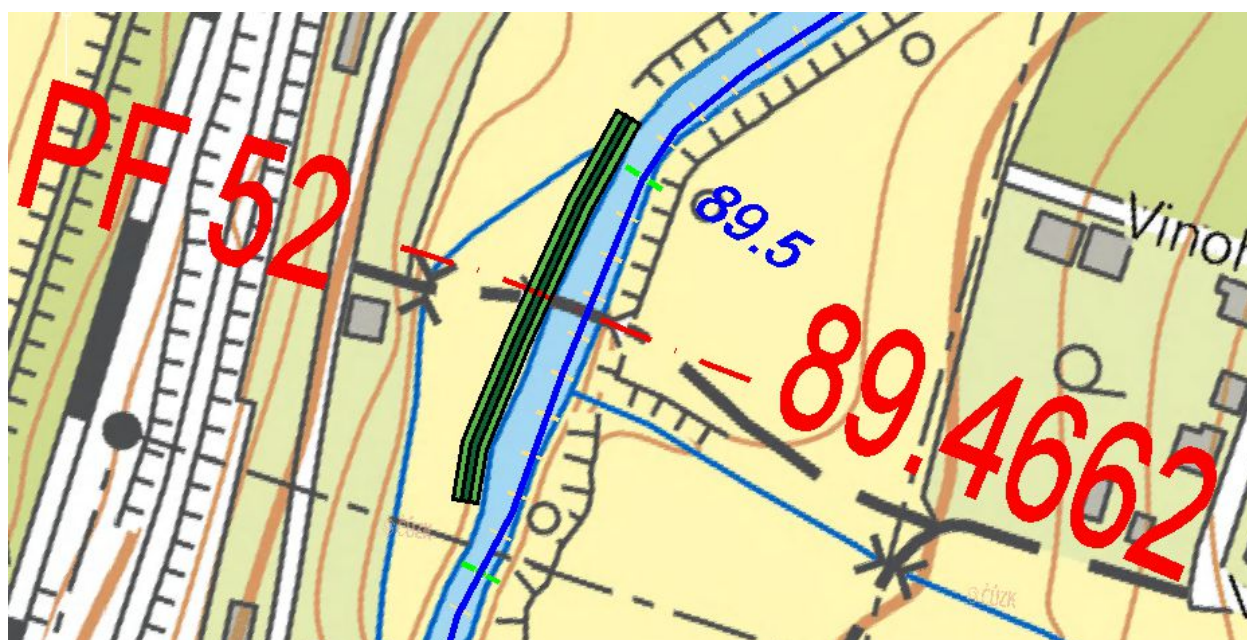
Od profilu 72 až na konec tohoto opatření, tedy na říční kilometr 92,480, bude provedeno opatření v podobě protipovodňové stěny. Ta zde bude umístěna z důvodu malého prostoru, jelikož v těsné blízkosti koryta je pozemní komunikace, tento problém je zřetelný z Obr. 61.

PF 71 KM 92.4999



Obr. 61 - Příčný řez PF71 s PPO v podobě protipovodňové stěny

9.2.2 PPO v ř.km 89,505 až 89,443



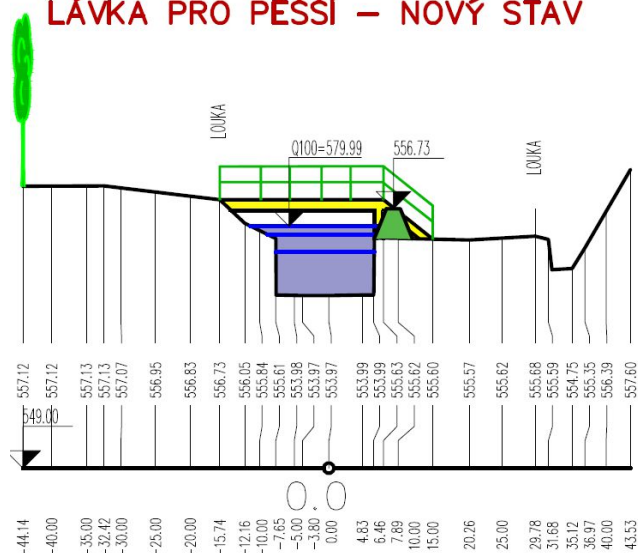
Obr. 62 - Situace PPO na úseku 89,505 až 89,443

Jedná se o nejmenší PPO, zde jsou opět využity hrázky stejně jako u předchozího případu. Celková délka opatření je 62 metrů. Jak bude opatření v místě bývalého stavidlového jezu vypadat, je vyobrazeno na Obr. 63.

V místě nově vybudované lávky pro pěší se opatření protáhne pod konstrukcí lávky, což znamená, že schody, které z lávky vedou, jsou až za navrhovaným opatřením.

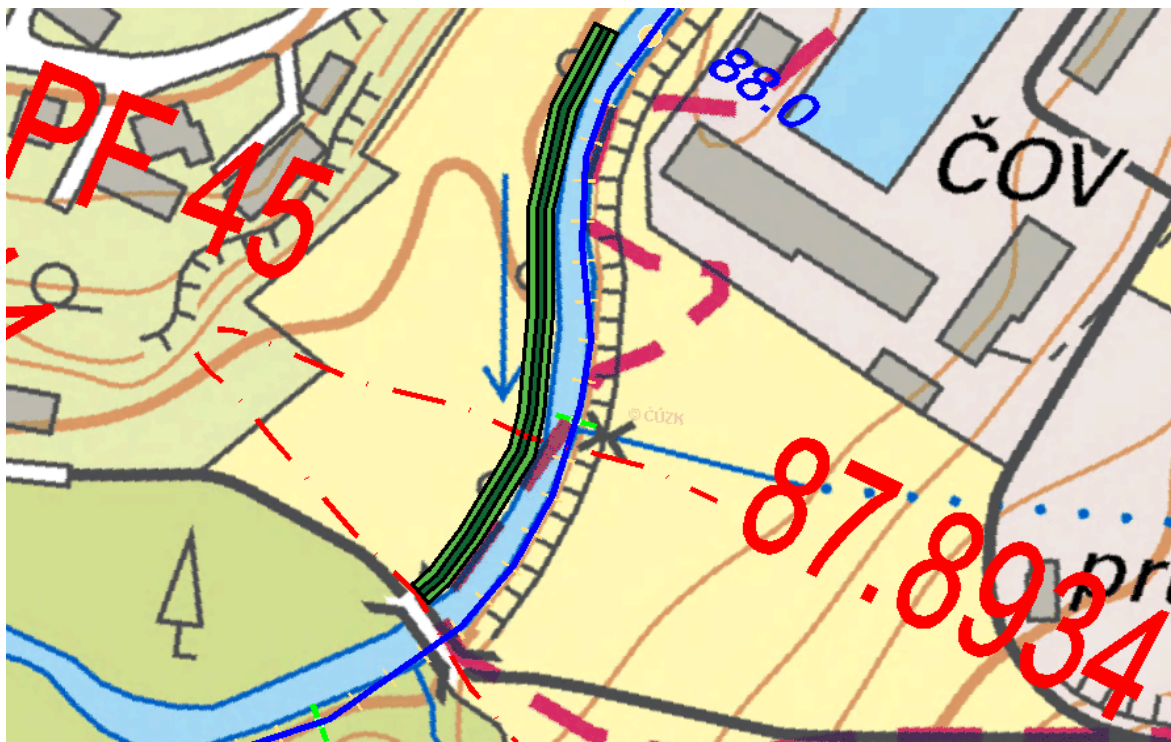
PF 52 KM 89.4662

LÁVKA PRO PĚŠŠÍ – NOVÝ STAV



Obr. 63 - Příčný řez PF52 s PPO v podobě hrázek

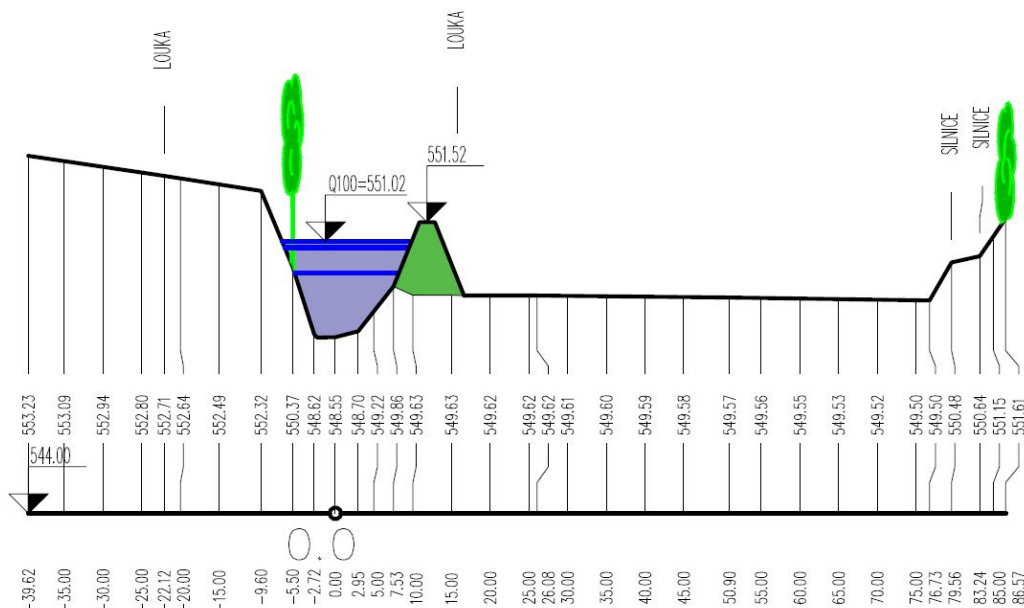
9.2.3 PPO v ř.km 88,149 až 87,820



Obr. 64 - Situace s PPO na úseku 88,149 až 87,820

Poslední úsek, kde bude navržena protipovodňová ochrana, je mezi říčním kilometrem 88,149 až 87,720. Bude zde opět navržena ochrana v podobě hrázek. Posuzovaný úsek končí ŽB mostem za ČOV, tím pádem budeme navrhovat ochranu jen po zmíněný most, ale měli bychom uvažovat i s ochranou cca 100 metrů za mostem. Jelikož je most zatopený a přes komunikaci zároveň nelze vést ochranu v podobě hráze, bude nutné toto místo zajistit mobilním hrazením, které bude umístěno na komunikaci v době povodní.

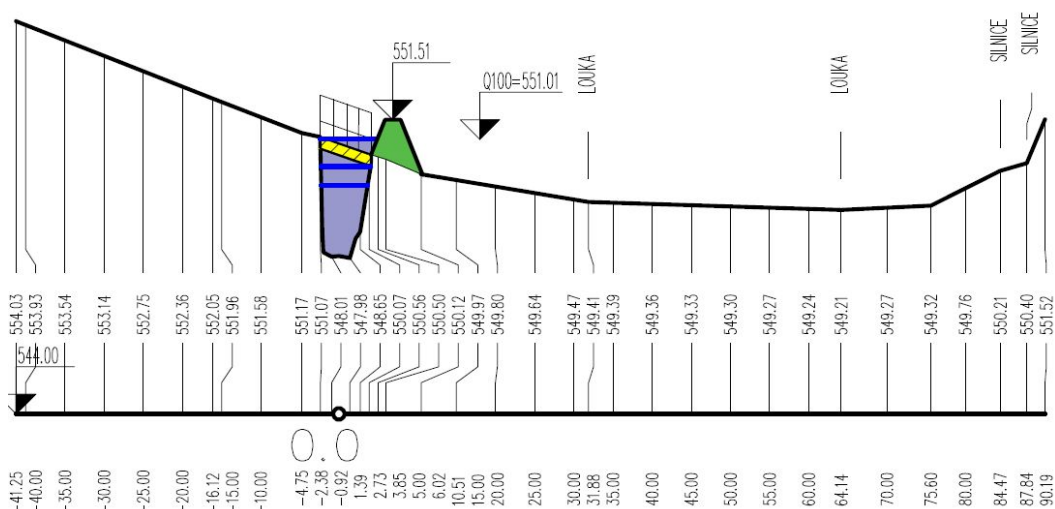
PF 45 KM 87.8934



Obr. 65 - Příčný řez PF45 s PPO v podobě hrázek

PF 44 KM 87.8366

ŽB MOST U ČOV (F12)



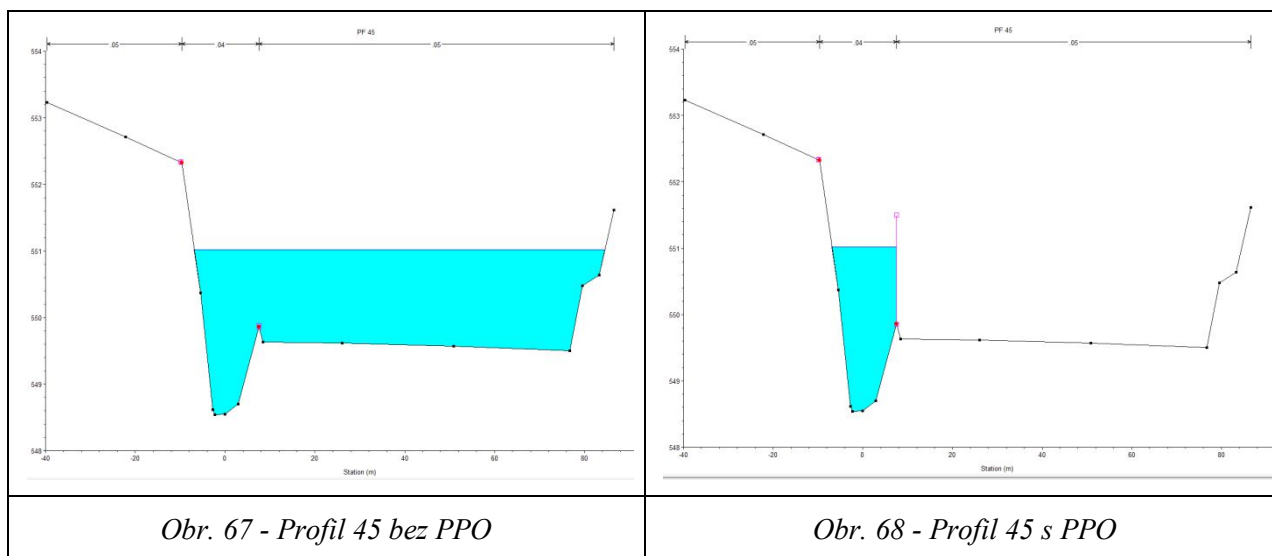
Obr. 66 - Příčný řez PF44 s PPO v podobě hrázek

10 Ověření kapacity koryta s PPO

V předchozí kapitole byl proveden návrh PPO a nyní bude ověřeno, zda je návrh správný a koryto bude kapacitní s příslušným opatřením. Tento kontrolní výpočet budeme provádět s opatřením pro Q_{100} , ale počítat jej budeme i pro Q_{10} , Q_{50} a Q_{100} .

10.1 Výpočet v HEC-RAS

K ověření kapacity byl opět použit program HEC-RAS, výpočet byl proveden stejným způsobem s jediným rozdílem. Musela zde být zadána navržená opatření. V programu byla k tomuto účelu použita funkce Levees. Břehy byly vyvýšeny na požadovanou úroveň podle návrhu. Ukázka na Obr. 68



10.2 Vyhodnocení výsledků

Byl proveden stejný výpočet jako předchozí. V tabulkách jsou opět interpretovány výsledky. Oproti minulé tabulce je zde i porovnání hodnot výšky hladiny, jak se změnila oproti hladině bez protipovodňového opatření. Je-li před hodnotou znaménku mínus, hladina se snížila. Pokud je před hodnotou znaménko plus, hladina se naopak zvýšila. Hodnoty jsou uváděny v centimetrech.

Dále jsou zde vyznačeny břehy, které prošly úpravou. Jejich výšková kóta se zvýšila a v tabulkách jsou vyznačeny modrou barvou. Druh a velikosti PPO jsou zaznamenány v předchozí kapitole.

10.2.1 Výpočty pro Q10

Tab. 19 - Výpočty s PPO pro Q10

Číslo	Staničení	Průtok	PF	Kóta hl.	Změna	Levý břeh	Pravý břeh	Vybřežení L	Vybřežení P
[-]	[ř. km]	[-]	[-]	[m n.m.]	[cm]	[m n.m.]	[m n.m.]	[-]	[-]
1	93.173	Q10	75	572.79	0	573.01	573.00	NE	NE
2	93.159		74	572.28	0	573.33	573.33	NE	NE
3	92.988		73	571.49	+11	572.21	572.56	NE	NE
4	92.674		72	569.38	2	570.05	573.97	NE	NE
5	92.500		71	568.35	0	569.53	569.40	NE	NE
6	92.360		70	567.81	0	570.48	570.45	NE	NE
7	92.338		69	567.74	0	568.54	568.48	NE	NE
8	92.081		68	566.73	0	569.07	569.07	NE	NE
9	91.907		67	565.92	0	566.56	566.57	NE	NE
10	91.828		66	565.31	0	566.48	566.37	NE	NE
11	91.559		65	563.73	0	566.92	566.96	NE	NE
12	91.357		64	562.60	0	563.67	563.73	NE	NE
13	91.258		63	562.17	0	562.89	562.95	NE	NE
14	91.123		62	561.23	0	564.41	562.16	NE	NE
15	90.807		61	559.90	0	560.53	561.38	NE	NE
16	90.648		60	559.07	0	560.94	560.86	NE	NE
17	90.569		59	558.78	0	559.48	559.78	NE	NE
18	90.453		58	558.34	0	561.47	561.27	NE	NE
19	90.349		57	557.94	0	559.10	558.92	NE	NE
20	90.191		56	557.36	0	560.24	560.27	NE	NE
21	90.065		55	557.05	0	558.17	557.93	NE	NE
22	89.931		54	556.49	0	559.02	559.01	NE	NE
23	89.777		53	555.81	0	558.12	558.13	NE	NE
24	89.466		52	555.22	0	556.72	556.73	NE	NE
25	89.262		51	554.84	0	558.16	558.40	NE	NE
26	89.029		50	553.77	0	555.56	555.52	NE	NE
27	88.939		49	553.20	0	556.07	556.85	NE	NE
28	88.791		48	552.58	0	553.85	553.64	NE	NE
29	88.554		47	551.84	0	553.05	553.04	NE	NE
30	88.179		46	551.13	0	552.31	552.02	NE	NE
31	87.893		45	550.18	+5	552.34	551.52	NE	NE
32	87.837		44	549.84	0	551.20	551.51	NE	NE

10.2.2 Výpočty pro Q50

Tab. 20 - Výpočty s PPO pro Q50

Číslo	Staničení	Průtok	PF	Kóta hl.	Změna	Levý břeh	Pravý břeh	Vybřežení L	Vybřežení P
[-]	[ř. km]	[-]	[-]	[m n.m.]	[cm]	[m n.m.]	[m n.m.]	[-]	[-]
1	93.173	Q50	75	572.96	0	573.01	573.00	NE	NE
2	93.159		74	572.66	+1	573.33	573.33	NE	NE
3	92.988		73	571.88	+27	572.21	572.56	NE	NE
4	92.674		72	569.85	+3	570.05	573.97	NE	NE
5	92.500		71	568.80	0	569.53	569.40	NE	NE
6	92.360		70	568.23	0	570.48	570.45	NE	NE
7	92.338		69	568.17	0	568.54	568.48	NE	NE
8	92.081		68	567.13	0	569.07	569.07	NE	NE
9	91.907		67	566.27	0	566.56	566.57	NE	NE
10	91.828		66	565.69	0	566.48	566.37	NE	NE
11	91.559		65	564.14	0	566.92	566.96	NE	NE
12	91.357		64	563.05	0	563.67	563.73	NE	NE
13	91.258		63	562.65	0	562.89	562.95	NE	NE
14	91.123		62	561.66	0	564.41	562.16	NE	NE
15	90.807		61	560.28	0	560.53	561.38	NE	NE
16	90.648		60	559.41	0	560.94	560.86	NE	NE
17	90.569		59	559.12	0	559.48	559.78	NE	NE
18	90.453		58	558.69	0	561.47	561.27	NE	NE
19	90.349		57	558.28	0	559.10	558.92	NE	NE
20	90.191		56	557.74	0	560.24	560.27	NE	NE
21	90.065		55	557.42	0	558.17	557.93	NE	NE
22	89.931		54	556.91	0	559.02	559.01	NE	NE
23	89.777		53	556.25	0	558.12	558.13	NE	NE
24	89.466		52	555.71	+5	556.72	556.73	NE	NE
25	89.262		51	555.30	+1	558.16	558.40	NE	NE
26	89.029		50	554.17	0	555.56	555.52	NE	NE
27	88.939		49	553.64	0	556.07	556.85	NE	NE
28	88.791		48	553.04	0	553.85	553.64	NE	NE
29	88.554		47	552.45	0	553.05	553.04	NE	NE
30	88.179		46	551.73	+14	552.31	552.02	NE	NE
31	87.893		45	551.28	+42	552.34	551.52	NE	NE
32	87.837		44	551.05	+53	551.20	551.51	NE	NE

10.2.3 Výpočty pro Q100

Tab. 21 - Výpočty s PPO pro Q100

Číslo	Staničení	Průtok	PF	Kóta hl.	Změna	Levý břeh	Pravý břeh	Vybřežení L	Vybřežení P
[-]	[ř. km]	[-]	[-]	[m n.m.]	[cm]	[m n.m.]	[m n.m.]	[-]	[-]
1	93.173	Q100	75	573.00	+1	573.01	573.00	NE	NE
2	93.159		74	572.85	+2	573.33	573.33	NE	NE
3	92.988		73	572.06	+35	572.21	572.56	NE	NE
4	92.674		72	570.05	+5	570.05	573.97	NE	NE
5	92.500		71	569.01	0	569.53	569.40	NE	NE
6	92.360		70	568.44	0	570.48	570.45	NE	NE
7	92.338		69	568.39	0	568.54	568.48	NE	NE
8	92.081		68	567.32	0	569.07	569.07	NE	NE
9	91.907		67	566.44	0	566.56	566.57	NE	NE
10	91.828		66	565.87	0	566.48	566.37	NE	NE
11	91.559		65	564.35	0	566.92	566.96	NE	NE
12	91.357		64	563.26	0	563.67	563.73	NE	NE
13	91.258		63	562.86	0	562.89	562.95	NE	NE
14	91.123		62	561.86	0	564.41	562.16	NE	NE
15	90.807		61	560.45	0	560.53	561.38	NE	NE
16	90.648		60	559.57	0	560.94	560.86	NE	NE
17	90.569		59	559.30	0	559.48	559.78	NE	NE
18	90.453		58	558.86	0	561.47	561.27	NE	NE
19	90.349		57	558.46	0	559.10	558.92	NE	NE
20	90.191		56	557.92	0	560.24	560.27	NE	NE
21	90.065		55	557.59	0	558.17	557.93	NE	NE
22	89.931		54	557.10	0	559.02	559.01	NE	NE
23	89.777		53	556.47	0	558.12	558.13	NE	NE
24	89.466		52	555.93	+8	556.72	556.73	NE	NE
25	89.262		51	555.52	+2	558.16	558.40	NE	NE
26	89.029		50	554.34	0	555.56	555.52	NE	NE
27	88.939		49	553.84	+1	556.07	556.85	NE	NE
28	88.791		48	553.29	+1	553.85	553.64	NE	NE
29	88.554		47	552.81	+5	553.05	553.04	NE	NE
30	88.179		46	551.98	+20	552.31	552.02	NE	NE
31	87.893		45	551.52	+50	552.34	551.52	NE	NE
32	87.837		44	551.20	+59	551.20	551.51	NE	NE

10.3 Zhodnocení návrhu PPO

Výpočtem bylo ověřeno, že koryto je po návrhu PPO zcela kapacitní a navržená opatření jsou tedy v pořádku. Bylo tedy navrženo opatření na třech místech. Nejvíce bylo využito opatření ve formě hrázek podél toku, následně v jedné části byla použita protipovodňová zeď a v jednom případě bylo navrženo mobilní opatření.

11 Závěr

Bylo provedeno kompletní posouzení kapacity toku Chrudimka od říčního kilometru 87,837 po 93,173. Práce prošla fázemi od seznámení s lokalitou, získávání informací, přes hydraulické výpočty v Programu HEC-RAS. Následně byly získány hodnoty, ty byly zpracovány a následně vyhodnoceny. Bylo zjištěno několik míst, kde se voda rozlévala z přirozeného koryta. Tato místa byla prověřena a následně byla zpracována potřebná protipovodňová opatření. Jejich návrh byl popsán, odůvodněn a zakreslen do projektové dokumentace. Jako další krok byl proveden kontrolní výpočet s navrženou PPO. Výsledky výpočtu byly znovu vyhodnoceny a bylo ověřeno, zda je návrh správný a koryto je zcela kapacitní.

Ještě jednou bych rád podotknul, že vypočtené rozlivy byly mimo zastavěná území a nijak neohrožovaly obyvatelstvo. Tudíž stojí za zvážení, zda by se takováto rozsáhlá opatření prováděla, a pokud ano, tak v jakém rozsahu. Zda by nepostačilo jen částečné zkapacitnění toku, nebo by se mohla záplavová území uvažovat jako úmyslná, z pohledu částečného zadržetí povodně. My jsme se však rozhodli ukázat řešení, jak by úprava vypadala, pokud bychom chtěli chránit každou oblast před zaplavením.

Z osobního pohledu pro mě byla práce pozitivním přínosem. Naučil jsem se shromažďovat a vyhledávat data. Dále jsem se naučil v programech HEC-RAS a CIVIL 3D. Doufám, že získané zkušenosti z této práce do budoucna zúročím ve své odborné praxi.

Závěrem lze tedy říci, že práce splnila zadání a předem určené cíle ve všech bodech. Tudíž lze tuto práci považovat za úspěšnou.

12 Použité zdroje

- [1] JANDORA, Jan a Jan ŠULC. *Hydraulika: modul 01*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. ISBN 978-80-7204-512-9.
- [2] *Povodí Labe, státní podnik* [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.pla.cz/planet/webportal/internet/default.aspx?AspxAutoDetectCookieSupport>
- [3] *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/>
- [4] *Online 5G model terénu* [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://ags.cuzk.cz/dmr/>
- [5] CHOW, V.T.: *Open channel hydraulics*. London 1959
- [6] *Katalog drsnosti* [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/katalogdrsnosti/>
- [7] *Dibavod* [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: Katalog drsnosti [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/katalogdrsnosti/>
- [8] SMELÍK, Lukáš. *Návrh metodiky stanovení součinitele drsnosti otevřených koryt*. Brno, 2015. 131 s, 71s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Hana Uhmánová, CSc
- [9] *Schéma PPO* [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.cs-povodne.eu/Protipovodnova-ochrana-a-povodne/Protipovodnova-opatreni>
- [10] *Rozšíření koryta* [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/nektere-vodni-toky-strednich-cech/mrlina/>
- [11] *Protipovodňová zed'* [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://www.lidovky.cz/foto.aspx?galerie=povodne-2013-2dil&foto=SPA4ba4db_mel8.jpg&order=P&skip=0
- [12] *Mobilní stěna* [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.blesk.cz/galerie/zpravy-povodne-2013/284792/vytrvale-deste-prinesly-povodne-v-ohrozeni-je-uz-i-praha?foto=5>
- [13] *Mobilní hrazení* [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://variel.cz/produkty/protipovodnove-zabrany/>
- [14] *Vaky plněné vodou* [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.gumotex-rescue-systems.cz/valcove-protipovodnove-zabrany-vaky-plnene-vodou>
- [15] *Pytle s pískem* [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://www.lidovky.cz/usti-zavalila-voda-a-pytle-s-piskem-mesto-netrpelive-ceka-na-povodnovou-vlnu-lsx-/zpravy-domov.aspx?c=A130604_210623_ln_domov_hm
- [16] MATTAS, D. (2014): *Výpočet průtoku v otevřených korytech*. Práce a Studie 205, VÚV T.G.M. Praha. ISSN 1211-3727, ISBN 978-80-87402-27-6
- [17] *Wikipedia* [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana

Seznam tabulek

Tab. 1 Ukazatelé jakosti vody v dané lokalitě	16
Tab. 2 - Seznam objektů	19
Tab. 3 - Seznam objektů na I. úseku	21
Tab. 4 - Seznam objektů na II. úseku	22
Tab. 5 - Seznam objektů na III. úseku	24
Tab. 6 - Seznam objektů na IV. úseku	26
Tab. 7 - Seznam objektů na V. úseku	31
Tab. 8 - Výpočtové vztahy pro ustálené rovnoměrné proudění v lich. korytě	34
Tab. 9 - Součinitelé místní ztráty	37
Tab. 10 - Podklady pro tvorbu DMT	38
Tab. 11 - Stanovení součinitele drsnosti	44
Tab. 12 Stanovení součinitele přepadu	45
Tab. 13 - Výpočty pro Q10	48
Tab. 14 - Výpočty pro Q50	49
Tab. 15 - Výpočty pro Q100	50
Tab. 16 - Podrobná charakteristika rozlivů při Q10	51
Tab. 17 - Podrobná charakteristika rozlivů při Q50	51
Tab. 18 - Podrobná charakteristika rozlivů při Q100	52
Tab. 19 - Výpočty s PPO pro Q10	67
Tab. 20 - Výpočty s PPO pro Q50	68
Tab. 21 - Výpočty s PPO pro Q100	69

Seznam obrázků

Obr.1 - Poloha města Hlinska na mapě ČR	13
Obr.2 - Přehledná mapa města Hlinska	14
Obr.3 - Mapa povodí Chrudimky [C]	15
Obr.4 - Podélný profil toku [C]	16
Obr.5 - Geologická mapa	17
Obr.6 - Reliéf terénu - mapa stínovaného 5G modelu [4]	18
Obr. 7 - Mapa ročního srážkového úhrnu [3]	18
Obr. 8 - Mapa rozčlenění koryta na úseky	20
Obr. 9 - Objekt číslo 1 - Kamenný jez před Hlinskem [I]	21
Obr.10 - Objekt číslo 2 - ŽB most šikmý Blatno[I]	22
Obr.11 - Objekt číslo 3 - ŽB most Blatno[I]	23
Obr.12 - Objekt číslo 4 - ŽB lávka Blatno[I]	23
Obr.13 - Objekt číslo 5 - ŽB silniční most šikmý Blatno[I]	24
Obr.14 - Objekt číslo 6 - Lávka s potrubím[I]	25
Obr.15 - Objekt číslo 7 - ŽB silniční most Hlinsko[I]	25
Obr. 16 - Stavidla z rekonstrukce 2003[I]	27
Obr.17 - Objekt číslo 8 - ŽB silniční most Hlinsko[I]	27
Obr.18 - Objekt číslo 9 - ŽB lávka Betlém[I]	28
Obr.19 - Objekt číslo 10 - ŽB silniční most šikmý Hlinsko[I]	28
Obr.20 - Objekt číslo 11 - Ocelový příhradový most[I]	29
Obr.21 - Objekt číslo 12 - ŽB most v továrně[I]	29
Obr.22 - Objekt číslo 13 - lávka pro pěší[I]	30
Obr. 23 - Objekt č.13 - původní stavidlový jez [H]	30
Obr.24 - Objekt číslo 14 - Lávka ocelová Horalka[I]	31
Obr.25 - Objekt číslo 15 - ŽB silniční most Kouty[I]	32
Obr.26 - Objekt číslo 16 - ŽB most u ČOV[I]	32
Obr. 27– Složené koryto	33
Obr. 28 – Jednoduché lichoběžníkové koryto	34
Obr. 29 – Rozdělení koryta na úseky	35
Obr. 30 – Směr výpočtu při řešení nerovnoměrného proudění metodou po úsecích	35
Obr. 31 – Schéma pro výpočet nerovnoměrného proudění	36
Obr. 32 – Proměnný drsnostní součinitel	37
Obr. 33 – Schéma postupu práce	40
Obr. 34 – Špatně zadané břehové linie v programu HEC-RAS (profil 78)	41
Obr. 35 – Opravené břehové linie v programu HEC-RAS (profil 78)	41
Obr. 36 – Objekt 15 (podklad [F]	42
Obr. 37 – Zadání objektu 15 do programu HEC-RAS	42
Obr. 38 – Objekt 13 [F]	42
Obr. 39 – Zadání objektu 13 do programu HEC-RAS	42
Obr. 40 – Zadávání průtoků (Steady flow data	43
Obr. 41 – Zadávání okrajových podmínek (Steady flow data	43
Obr. 42 – Rozhodovací strom pro volbu drsnostního součinitele v korytech [8]	44

Obr. 43 - Zadávání součinitele přepadu do HEC-RAS	45
Obr. 44 - Špatně zadané levees	46
Obr. 45 - Správně zadané levees	46
Obr. 46 - Zadání interpolace	46
Obr. 47 - Interpolace koryta ve vzdálenosti 10 metrů	46
Obr. 48 - Spuštění výpočtu	47
Obr. 49 - Situace rozlivů na říčním kilometru 93,159 až 92,480	53
Obr. 50 - Příčný řez PF71 s rozlivem Q100	53
Obr. 51 - Situace rozlivu na říčním kilometru 89,505 až 89,403	54
Obr. 52 - Příčný řez PF72 s rozlivem Q100	54
Obr. 53 - Situace rozlivu na říčním kilometru 88,149 až 87,820	55
Obr. 54 - Příčný řez PF45 s rozlivem Q100	55
Obr. 49 – Schéma PPO [9]	56
Obr. 50 – Ukázka koryta s bermami po obou stranách[10]	57
Obr. 51 – Ukázka ochranné hráze[11]	57
Obr. 52 – Protipovodňová zeď[12]	58
Obr. 53 – Mobilní protipovodňová stěna[13]	59
Obr. 54 – Mobilní hrazení[14]	59
Obr. 55 – Vaky napuštěné vodou (GUMOTEX)[15]	60
Obr. 56 – Hrazení z pytlů plněných pískem[16]	60
Obr. 57 - Příčný řez hrázkou	61
Obr. 58 - Příčný řez protipovodňovou stěnou	61
Obr. 59 - Situace PPO na úseku 93,159 až 92,480	62
Obr. 60 - Příčný řez PF75 s PPO v podobě hrázek	62
Obr. 61 - Příčný řez PF71 s PPO v podobě protipovodňové stěny	63
Obr. 62 - Situace PPO na úseku 89,505 až 89,443	63
Obr. 63 - Příčný řez PF52 s PPO v podobě hrázek	64
Obr. 64 - Situace s PPO na úseku 88,149 až 87,820	64
Obr. 65 - Příčný řez PF45 s PPO v podobě hrázek	65
Obr. 66 - Příčný řez PF44 s PPO v podobě hrázek	65
Obr. 67 - Profil 45 bez PPO	66
Obr. 68 - Profil 45 s PPO	66

Seznam zkratk a symbolů

ČÚZK	- Český úřad zeměměřický a katastrální
ČHMÚ	- Český hydrometeorologický ústav
PLA	- Povodí Labe
CHKO	- Chráněná krajinná oblast
PPO	- Protipovodňové opatření
PF	- Příčný profil
ČOV	- Čistírna odpadních vod
DMT 5G	- Digitální model terénu páté generace
Obr.	- Obrázek
Tab.	- Tabulka
Q10	- 10-ti letý průtok
Q50	- 50-ti letý průtok
Q100	- 100-ti letý průtok

A	- Průtočný průřez
O	- Omočený obvod
R	- Hydraulický poloměr
C	- Rychlostní součinitel
v	- Průřezová rychlost
Q	- Průtok
h_t	- Ztráty třením
h_m	- Ztráty místní
n	- Drsnostní součinitel
b	- Šířka ve dně
i_0	- Podélný sklon dna koryta
h	- Hloubka vody
g	- Gravitační zrychlení
α	- Coriolisovo číslo

Seznam příloh

1. Výkresová dokumentace

1.01.	Přehledná situace	M 1:1000
1.02.	Příčné řezy (PF75-PF44)	M 1:1000/200
1.03.	Podélný profil	M 1:5000/200
1.04.	Situace s vykreslením rozlivů Q100	M 1:1000
1.05.	Příčné řezy s PPO	M 1:1000/200